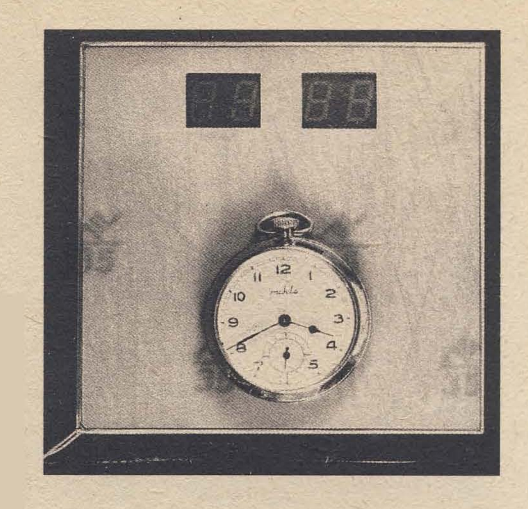
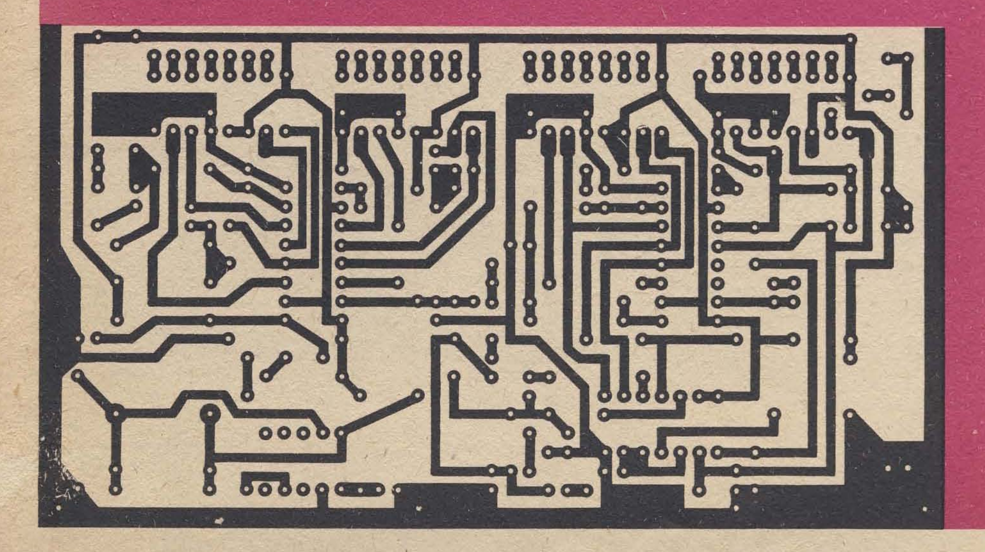




Bauplan 65

Klaus Schlenzig

Digitaluhr in CMOS



Inhalt

1. Einleitung

Als 1964 Bauplan Nr. 1 mit dem Thema »Taschenempfänger« entstand, waren im Handelssortiment bereits einige Typen dieser Art (und mit höherem Gebrauchswert!) erhältlich. Der Autor selbst gab daher dem Thema keine größeren Zukunftschancen. Das Gegenteil trat ein. Nicht nur eine 2. Auflage machte sich notwendig, sondern auch Jahre danach fanden Bauanleitungen für kleine Rundfunkempfänger große Resonanz.

Die Ursache liegt einfach darin, daß kaum ein anderes Objekt auch schon bei kleinstem Aufwand unter entsprechenden Empfangsbedingungen so schnell ein Erfolgserlebnis bringen kann. Kleine Rundfunkempfänger sind daher noch immer – neben Niederfrequenzverstärkern mit all ihren populären Anwendungen – als guter »Einstieg« in die Analogtechnik zu betrachten, also in jene Ebene der Elektronik, auf der einmal alles begann. Erst die technologischen Fortschritte der Mikroelektronik haben dazu geführt, daß auch das »Einsteigerobjekt« der Digitaltechnik massenwirksam werden konnte: der elektronische Zähler mit seiner speziellen Form, der Digitaluhr.

Als dann mit Bauplan Nr. 40 dieser Entwicklung Rechnung getragen werden konnte, war bereits eine gute Basis höher integrierter Schaltkreise dafür vorhanden. Im Gegensatz zu arbeitsaufwendigeren Vorläufern, die mit einer großen Anzahl von Einzeltransistoren bestückt waren, erwiesen sich diese Lösungen jedoch als ziemlich energieintensiv. Außerdem war ohne eng tolerierte Betriebsspannung stets die Gefahr des Ausstiegs ohne Wiederkehr gegeben. Zeitweiliges Datenchaos schon beim Anschluß einer harmlosen Prüfspitze gingen auf das Konto der für diese Zwecke eigentlich unnötig schnellen TTL-Technik. »Langsamere« Lösungen mit Hochvolt-MOS-Schaltkreisen waren daher eine Zeitlang eine durchaus vorteilhafte Alternative. Mit dem kombinierten Zähler-Speicher-Dekoderbaustein *U 121 D* erreichte die MOS-Technik für Uhren bereits einen recht hohen Stand. Aber ohne ständige merkliche Betriebsströme bewegte sich bei all diesen Varianten nichts, auch bei abgeschalteten Anzeigeelementen. Sie wiederum brauchten, solange es sich um Ziffernanzeigeröhren handelte, hohe Betriebsspannung. LED-Ziffernanzeigen dagegen brachten eine erhebliche zusätzliche Belastung der Niederspannungsquelle.

All das war auf die ununterbrochene Präsenz des 220-V-Netzes oder eines kräftigen Akkumulators angewiesen. Mehr oder weniger aufwendige Pufferschaltungen mußten vorgesehen werden, wenn von einem solchen »Zeitzähler« einiges abhing.

Angesichts des wachsenden Angebots perfekter Industrieprodukte, vom quarzgetakteten Wecker mit Zeigerwerk bis zur solarzellengepufferten Armbanduhr mit LCD-Ausgabe, sank die Attraktivität solcher Klassiker, auf alle Fälle bezüglich eines Neubaus, »unter Null«. Es war an der Zeit, sich der Regel von der Verhältnismäßigkeit der Mittel zu erinnern. Die folgenden Betrachtungen gehen davon aus.

Es kann in diesem Rahmen nicht darum gehen, jedes Zählerprinzip oder digitale Uhren in all ihren Erscheinungsformen zu behandeln. Auch wenn es derzeit im Amateurbedarfshandel z. B. einen speziell für LED- oder gar LCD-Anzeigen hergestellten Uhrenbaustein gäbe (letztgenannten nur in Verbindung mit einer sicher kontaktierten Anzeige!), bliebe der Sinn eines Selbstbaus der vorgestellten Art erhalten.

Man könnte sich schließlich ja auch z. B. mit einem *U 125 D*, einem recht umfangreichen MOS-Baustein, eine Uhr oder einen Zähler bauen, allerdings mit merklichem Strombedarf. Das kann eine dankbare Aufgabe für weiter Fortgeschrittene sein, die die Zusammenhänge auf Grund entsprechender Erfahrungen richtig verstehen. Solche Erfahrung zu vermitteln ist aber umgekehrt eines der Anliegen der Bauplanreihe. In diesem Sinne stellt sie eine Spielwiese dar. Als diese Zeilen geschrieben wurden, stand der Industrie das komplette Sortiment der digitalen CMOS-*V-4000*-Reihe zur Verfügung. Daraus abgeleitete Amateurtypen, mindestens schon für einen Teil des Sortiments, waren im Amateurbedarfshandel neben Importen und anderen Überplan-Industrieposten erhältlich. Nach Aussagen des Handels konnte man erwarten, daß auch die im vorliegenden Objekt benutzten Typen zunehmend ins Angebot gelangen würden. Zwischenzeitlich traf das auf die schon erwähnten Überplanangebote bezüglich Markentypen zu.

Der Leser möge also folgendes bedenken: So, wie trotz gewissenhafter Arbeit und Prüfung im endgültigen Druckerzeugnis Fehler nie ganz auszuschließen sind, für die weder Verlag noch Autor haften können, so ist auch bei der Konzipierung eines Bauplanthemas mehr als 1 Jahr vor Erscheinen nie mit Sicherheit vorherzusagen, ob im Erscheinungszeitraum alles noch oder (häufiger) schon und überall erhältlich sein wird. Wo aber bliebe zeitgemäße Information für den Amateur, wenn man hier zu enge Maßstäbe anlegen wollte? Bisweilen ist auch bereits die eine oder andere Anregung nützlich, bevor irgendwann genau das Gewünschte im örtlichen Handel auftaucht.

2. Selbstbauentscheidungen

Der Reiz des eingangs angesprochenen selbstgebauten »Radios« lag (und liegt noch immer – selbst im Schatten der häuslichen Hi-Fi-Stereoanlage) eben im fast garantierten Erfolgserlebnis. Im Dialog von Anregung, Versuch und Überlegung wächst man spielerisch in die betreffende Technik hinein. Beim Empfänger als Beispiel verlangt mehr Lautstärke Verstärken – und schon dringt man weiter in die Elektronik ein.

Mit der LCD-Weckuhr am Handgelenk, im Blickfeld die Wohnraum-Digitaluhr (ob als früherer Eigenbau oder als aktuelles Angebot der Industrie), befindet man sich in einer ähnlichen Lage – nur eben im »Digitalen« statt im »Analogen«. Im Grunde läge es nahe, sich im Handel nach den Komponenten umzusehen, aus denen heute solche Industrieerzeugnisse bestehen. Das jedoch führt leicht in eine Sackgasse. Uhrenschaltkreise sind Spitzenleistungen der Mikroelektronik ähnlich den Mikroprozessoren. Das heißt: viel Technik auf winzigem Raum. Flache Körper im Format weniger Quadratmillimeter umschließen Tausende von Transistorfunktionen, kontaktiert durch bis zu mehrere Dutzend Anschlüsse rings um diese Körper auf kleinstem Raum. Spezielle Fertigungslinien garantieren Erzeugnisse hoher Präzision. Es gibt sicherlich Amateure mit Uhrmacherambitionen im klassischen Sinn. Sie sind – die Lupe im Auge – hier in ihrem Element. Man kann jedoch davon ausgehen, daß der größere Teil den soliden DIL-Vielbeiner im Rastermaß von 2,5 oder 2,54 mm (international üblicher »Zollraster«) vorzieht: Mikroelektronik (noch) zum Anfassen...

Die ebenso problematische Seite der Anzeigen für die angesprochenen Spezialschaltkreise soll dabei gar nicht erst Gegenstand weitergehender Überlegungen sein. Schließlich dürfte nur krassen Individualisten in den Sinn kommen, eine Armbanduhr selbst bauen zu wollen. Doch auch bei den großen Anzeigen für Wohnraumuhren stellte sich – zum Manuskriptzeitpunkt – das gleiche Problem. Zwar liegen bei großen LCD-Anzeigen die Kontakte in akzeptablen Abständen, aber sie bestehen nur aus einem Hauch von Metall auf Spezialglas. Eigens dafür hergestellte Leitgummi-Formkörper übernehmen kraft- und formschlüssig die Verbindungen zwischen den Kontaktstreifen und der Leiterplatte. Für den nötigen Druck sorgt ein aufgesetzter Halterahmen. Alles in allem – heute noch keine so recht fürs Bauplanmilieu geeignete Materie.

Noch ein Vergleich zum Radiobasteln sei gestattet: Wenn der Eigenbau die Gebrauchseigenschaften käuflicher Fertiggeräte erreichen soll, gelangt der materielle Aufwand in die gleiche Größenordnung. Was beide Vorgänge – den Bau oder den Kauf – unterscheidet, sind der Lerneffekt, die interessante Freizeitbeschäftigung, die Erkenntnis über die eigenen Fähigkeiten und deren Wachsen und schließlich die Auswirkungen auf das, was man dadurch mehr für die Gesellschaft zu leisten vermag.

Um wieviel stärker trifft das heute auf Objekte der Digitaltechnik zu. Schließlich ist sie die »Mutter der Mikroelektronik« mit deren gegenwärtig wichtigstem Gebiet, das sich im Einsatz von Mikroprozessoren ausdrückt. Als deren attraktivste Anwendung wiederum gilt derzeit unter den fortgeschrittenen Amateuren zweifellos der Eigenbaucomputer. Dieser wiederum führt bereits an die Grenzen der mit Amateurmitteln beherrschbaren Technologien. Was aber, wenn ein solcher 40beiner innerhalb einer 2seitigen Leiterplatte nicht das tut, was er soll? Oft liegt es einfach an mangelhaften Lötstellen, besonders bei solchen Platten, die man selbst durchkontaktieren muß. Man kann heute bisweilen beobachten, daß die relative Übersichtlichkeit, mit der sich Geräte dieser Art beschreiben lassen, manchen Anfänger den Sprung in eine Materie wagen läßt, deren Tücken sie erst zu spät erkennen. Gerade in der Mikroelektronik hüte man sich jedoch vor solchen großen Sprüngen. Schritte von angemessener Weite führen viel sicherer zum Ziel.

Der Selbstbau eines »Zeitzählers« mit den heute verfügbaren Mitteln ist gut geeignet, die richtige Schrittweite zu üben. Gegenwärtig kann man die Argumente für das in den folgenden Abschnitten beschriebene Gerät so zusammenfassen:

- Bei vernünftiger Konzeption und Bauelementewahl läßt sich der Bau einer Digitaluhr heute auch in Aufwand und Erfolgschancen mit dem Selbstbau eines kleinen Rundfunkempfängers vergleichen.
- Der Gebrauchswert des Ergebnisses hängt bezüglich Genauigkeit nur vom verwendeten Taktgeber ab, läßt sich also bei Bedarf auch stufenweise verbessern.
- Umfangreiche Stromversorgungsteile gehören der Vergangenheit an, und auch die Störimpulsempfindlichkeit ist bei geeigneter Konstruktion kleiner als bei schneller TTL-Technik.
- Je nach Einsatzzweck kann die gleiche Grundversion zu ganz unterschiedlichen Einsatzvarianten ausgebaut bzw. modifiziert werden.
- Durch Einsatz moderner CMOS-Technik reduziert sich der Strombedarf für das reine »Zeitzählen« auf wenige Milliampere.
- Bei dennoch zu empfehlendem netzgestütztem Betrieb erhält man eine auch nachts gut ablesbare Anzeige, die sich bei Netzausfall automatisch oder (z. B. für längeren Transport) auch von Hand abschalten läßt.
- Eine wenig aufwendige Zusatzschaltung paßt die Anzeigehelligkeit automatisch der Helligkeit der Umgebung an, d. h. blendfreie Anzeige nachts und gut erkennbare Ziffern auch bei Tageshelligkeit.
- Ein ähnlich unkomplizierter Zusatz erweitert das Grundgerät auf Wunsch zur Weckuhr.
- Das Objekt kann stufenweise aufgebaut werden.
- Insgesamt zählt damit dieses Gerät zu den auch am Ende der 80er Jahre noch durchaus interessanten Zielen für den Freizeitelektroniker, an dem er seine Kenntnisse der Mikroelektronik erweitern und überprüfen kann.

3. Auf den Takt kommt es an

Alle Zeitmessung (unserer Art) läßt sich zurückführen auf das Zählen von Impulsen, die in genau festgelegtem Abstand eintreffen. Üblich ist die Sekundenbasis. Ein Sekundentakt wird jedoch höchstens in einfachen Systemen direkt erzeugt. Wenn das nicht so präzise geschieht, wie man es sich – über den Tag gesehen – wünscht, so liegt es an den von Spannung, Temperatur und Exemplar sowie durch die Unvollkommenheiten von R und C bedingten Schwankungen dieser Zeitspanne. Der nächste Abschnitt gibt dazu ein Beispiel.

3.1. Triggertakt

Wie aus Bild 1 hervorgeht, braucht ein einfacher Taktgeber mit einem CMOS-Triggerschaltkreis *V 4093 D* nur 2 externe Bauelemente. Das spricht sehr für ihn, solange man die genannten Schwankungen akzeptiert. In der Experimentierphase dürfte das wohl meist zutreffen.

Die Funktion der Schaltung ist schnell erläutert: Beim Einschalten führt der Kondensator noch keine Ladung. Der Eingang liegt also auf L. Das bedeutet am Ausgang H. Solange nun am Ausgang H steht, lädt sich der Kondensator über den Widerstand auf. Ist die obere Schwelle des Schwellwertschalters (also des Triggers) bei etwa 70 % von U_{DD} erreicht, kippt der Ausgang auf L. Jetzt entlädt sich der Kondensator über den Widerstand in den Ausgang hinein, bis die Kondensatorspannung die untere Triggerschwelle bei etwa 30 % von U_{DD} erreicht hat. Der Ausgang kippt dabei wieder auf H, das Spiel geht periodisch weiter.

Bei üblichen digitalen Zählschaltungen interessiert nicht, wie lange innerhalb einer Taktperiode der Pegel auf L oder auf H bleibt. Entscheidend ist nur der Zeitpunkt des Wechsels. Im eingetakteten System sind – ideal gesehen – die Abstände der Schaltflanken konstant. In diesen Abständen steckt die Zeitinformation. Im Tausch zwischen Konstanz des Widerstands (mit höheren Werten abnehmend) und Volumen sowie Reststrom des Kondensators (der auch bei anderen Typen als Elektrolytkondensatoren eine Rolle spielen kann) erlaubt die Schaltung nach Bild 1 einen großen Wertespielraum. Exemplarbedingte Toleranzen werden durch Widerstandsabgleich abgefangen – mit dem Nachteil, daß Stellwiderstände unsicherer sind als Festwiderstände. Präzise Dickschichtsteller mit Feintrieb bilden die obere Grenze des Erreichbaren bezüglich Konstanz. Oder dem Steller wird (was in jedem Fall sinnvoll ist!) nur der unbedingt nötige variable Teil zugeordnet, so daß z. B. statt 100 kΩ ein 47-kΩ-Steller in Serie mit einem 82-kΩ-Festwiderstand zu schalten wäre. Man beachte auch, daß vor allem einfache Steller bis zu 20 % mehr oder weniger Endwert haben können, als ihrem Nennwert entspricht.

Um diesen Takt, gegen dessen Temperaturabhängigkeit man im vorliegenden Fall nichts tun kann, leichter auf Sollwert einstellen zu können, wird in Bild 1 das gestrichelt gezeichnete 2. Triggerelement benutzt. Eine Leuchtdiode guten Wirkungsgrades kann über einen Vorwiderstand direkt an dessen Ausgang gelegt werden, doch ein Transistor schafft mehr »Spielraum« in der Helligkeit, besonders bei nicht allzu groß gewünschten Betriebsspannungen. Man sollte jedoch auch nicht wesentlich unter etwa 6 V gehen, damit bei Betrieb mit Batterie für deren Alterung noch genügend Spielraum bleibt. (Übliche CMOS-Typen arbeiten ab etwa 3 V bis zu 15 V. Oberhalb davon treten andere Effekte auf.)

Der Einfluß der Betriebsspannung auf den erzeugten Takt ist weniger groß, als man denken könnte. Das liegt an der Kopplung zwischen Triggerschwellwerten und Betriebsspannungshöhe. Gemäß Bild 1 bedingt zwar eine größere Spannung einerseits mehr Strom durch den Widerstand, doch andererseits ist der Spannungshub (die sogenannte Hysterese des Schwellwertschalters) zwischen den beiden Schaltschwellen auch wieder größer.

Ein ähnliches Verhalten hat der bekannte Timerschaltkreis *B 555 D*, nur leider um den Preis von einigen Milliampere ständig fließenden Betriebsstroms.

Nun darf man allerdings auch bei CMOS-Technik nicht vom extrem niedrigen Ruhestrom (real häufig weit unter 1 μA je Schaltkreis) ausgehen, auch wenn für definiert auf H oder L liegende Eingänge – als generelle Voraussetzung – gesorgt worden ist. Taktgeneratoren (und von ihnen gesteuerte Schaltungen, z. B. Teiler) »leben« ja vom laufenden Wechsel zwischen L und H. Es ist sogar so, daß normale Gatter bei langsamen Taktfrequenzen recht unerwünscht reagieren können, was zu hoher Stromaufnahme führt. Vergleichsmessungen haben bewiesen, daß der *V 4093 D* zwar – es geht nun einmal nicht anders – ebenfalls deutlich Strom benötigt, wenn er langsamen Wechseln der Eingangspotentiale ausgesetzt wird. Diese Ströme sind aber wesentlich kleiner als die internen Querströme von Gattern der gepufferten modernen CMOS-Serien wie der Reihe *V 4000*.

Jedenfalls: Bewegung braucht auch in CMOS Energie. Hinzu kommen alle zusätzlichen »Verbraucher«, vor allem die an Ausgängen. Unsere Leuchtdiode für die Taktfrequenzüberwachung sollte man also bald wieder auslöten, wenn sie ihren Zweck erfüllt hat. Sie kann bleiben (und würde dann den allerdings eben nicht allzu genauen Sekundentakt signalisieren), wenn netzgestützt gearbeitet wird. Möglichkeiten der Abschaltung in Zeiten, wo die interne Stützbatterie beansprucht wird, findet man in einem noch folgenden Abschnitt.

3.2. Takt aus dem Uhrenbaustein

Band 215 der Reihe *electronica* enthält Informationen zur Schaltkreisgruppe *U 114 D, U 124 D* und deren *S*-Typen. Diese mit nur 1,5 V zu betreibenden Schaltkreise sind in CMOS-Technologie hergestellt. Man bezeichnet sie zudem als Uhrenschaltkreise. Das bezieht sich allerdings vordergründig auf Uhren mit Schrittmotor und Zeigeranzeige, in denen sie den Takt bereitstellen. Wegen des Wirkprinzips dieser

Schrittmotoren erscheinen dabei an 2 Ausgängen zueinander versetzt 1/2-s-Impulse. Abgeleitet werden sie aus einer um den Faktor 2^{23} höheren quarzstabilen Frequenz, also von rund 4,19 MHz. In diesem Frequenzbereich lassen sich preisgünstig Schwingquarze fertigen.

Man kann einen Schwingquarz als einen Schwingkreis mit extrem hoher Güte ansehen. Das heißt u. a., daß er schon bei Zuführung einer sehr kleinen Energie unter geeigneten Bedingungen zu Schwingungen auf seiner Eigenfrequenz angeregt wird. Dabei hat jeder Quarz 2 mögliche Resonanzen, die relativ nahe beieinanderliegen: eine Serien- und eine Parallelresonanz. Darauf wird noch einmal kurz eingegangen werden.

Damit ein solcher Quarz nun auch ungestört auf der für die Art der Einsatzschaltung maßgebenden Resonanzfrequenz (also eben in Serien- oder in Parallelresonanz) schwingen kann, darf man ihn nur wenig belasten. Eine relativ starke Belastung bedeuteten früher benutzte niederohmige TTL-Gattergeneratorschaltungen. Demgegenüber sind CMOS-Schaltungen wesentlich günstiger.

Die heute am weitesten verbreitete Generatorschaltung für Uhrenquarze ist der durch den Quarz rückgekoppelte Inverter gemäß Bild 2. Und jetzt kommen die beiden möglichen Resonanzen ins Spiel: Für die Inverterschaltung braucht man Quarze, deren Parallelresonanzfrequenz den gewünschten Wert hat. Bisweilen waren im Handel auch Typen, deren aufgedruckter Wert die Serienresonanz bedeutete. In der Inverterschaltung erhielt man dadurch nie die gewünschte Sollfrequenz, trotz »Ziehens« mit dem üblichen Trimmkondensator, was in engen Grenzen möglich ist.

Daß der Quarz schaltungstechnisch als Schwingkreis betrachtet werden kann, führt zu interessanten Folgerungen für andere Takterzeugungsmöglichkeiten. Es sei gestattet, zu diesen Fragen die genannte Broschüre sinngemäß zu zitieren:

Die in Bild 2 enthaltenen beiden Kondensatoren haben im interessierenden Frequenzbereich Werte um 30 pF. Einer von ihnen wird meist als Trimmkondensator ausgeführt. Größerer Wert ergibt – eben in engen Grenzen – kleinere Frequenz. Untersuchungen an einer Reihe von Schaltkreisen der genannten Typen zeigten, daß mindestens 50 % noch bis herab zu 100 kHz einwandfrei schwangen und teilten. Fast alle ließen sich noch bei 200 kHz betreiben. Offensichtlich waren vor allem die dynamischen Teilerstufen der Grund für die untere Grenze, denn dort verringerte sich das Teilerverhältnis zunächst um den Faktor 0,5, also von 2^{23} auf 2^{22}. Dieser Effekt ließ sich allerdings bei einigen Exemplaren durch Erhöhen der Betriebsspannung bis an den oberen Grenzwert zu tieferen Frequenzen verschieben.

Die Untersuchungen führten zu dem Schluß, daß man die Schaltkreise dieser Typengruppe in einem großen Frequenzbereich und auch mit anderen Resonanzschaltungen betreiben kann. So lassen sich dann auch Takte gewinnen, die zwar nicht quarzgenau, durch LC-Schaltungen jedoch noch immer für viele Zwecke genügend frequenzstabil sind. Im Unterschied zur Quarzschaltung bestimmen die beiden Kapazitäten im Bild voll die Resonanzfrequenz mit. Die resultierende Kapazität ist der Wert ihrer Serienschaltung. Direkt zur Induktivität läßt sich ein weiterer Kondensator parallellegen, so daß man einen größeren Spielraum bei der Anpassung vorhandener Festwerte an die gewünschte Frequenz hat.

Doch nun zunächst zurück zum Schaltkreis selbst. Er besteht – je nach Variante – mindestens aus den in Bild 3 dargestellten Funktionsgruppen; Daten siehe Tabelle 1. (In der genannten Broschüre waren übrigens die Bilder der beiden Varianten *U 114 D* und *U 124 D* vertauscht!) Bild 3 bezieht sich also auf den *U 124 D* bzw. auf den Amateurtyp *S 114 D*, denn für beide ist keine Weckfunktion garantiert. Das hat im gegebenen Zusammenhang auch keine große Bedeutung, sondern ist für den Haupteinsatzzweck in Weckern mit Zeigern und Schaltkontakt interessant.

Die Funktionsbeschreibung zum Schaltkreis sei sinngemäß der Broschüre entnommen: Der Eingang für die Schwingschaltung (im Haupteinsatzfall also für den Quarz) besteht aus den Anschlüssen eines integrierten Inverters (10, 9), den der Hersteller intern bereits durch einen Koppelwiderstand für die Oszillatorfunktion vorbereitet hat. Der Wert dieses Widerstands liegt bei etwa 5 MΩ. Er bringt im Schwingbetrieb das Verhalten eines A-Verstärkers, d. h., der Arbeitspunkt liegt etwa in der Mitte zwischen Betriebsspannung und Masse. Das bedeutet einen ständig fließenden Strom im Mikroamperebereich. Die Schwingungsamplitude entspricht nahezu der Betriebsspannung.

Der Schaltkreis enthält 23 binäre Teilerstufen, d. h., jede von ihnen teilt die Frequenz an ihrem Eingang auf die Hälfte. Damit diese Stufen einwandfrei arbeiten, wird das zunächst etwa sinusförmige Generatorsignal in einem Inverter in ein etwa rechteckförmiges verwandelt, damit genügend steile Schaltflanken zustande kommen. Die ersten Teiler sind dynamisch, die folgenden reagieren auf statische Pegel.

Hinter dem 1. Teilerkomplex mit 12 Teilerstufen wird die auf 2^{12}:1 geteilte Schwingung (das sind bei einem Quarz von rund 4,19 MHz oder genauer von 2^{22} Hz noch 2^{10} Hz = 1024 Hz) außer dem nächsten Teiler noch 2 Funktionsgruppen zugeführt. Zum einen gelangt sie in einen NAND-Funktionsblock, der außerdem über seinen 2. NAND-Eingangsteil die nochmals durch 2^4 geteilte Frequenz erhält. Sie wird über diese Stufe zum nächsten Teiler weitergereicht, solange der 2. Eingangsanschluß dieses Teils auf H liegt. Das besorgt eine sogenannte Testlogik, die über Anschluß 7 eingangsseitig zugänglich ist. Auf Grund eines nicht dargestellten integrierten pull-up-Widerstands liegt ihr Eingang auf H. Damit führen ihre Ausgänge die zueinander inversen Pegel H (oberer Ausgang) und L (unterer Ausgang). Der obere NAND-Eingangsteil ist damit freigegeben, und die bis jetzt durch 2^{16} geteilte Frequenz wird zu den letzten beiden Teilerkomplexen durchgeschaltet. An den Ausgängen 4 und 6 ergeben sich damit die normalen, zueinander versetzten 0,5-Hz-Impulse.

Legt man nun den Eingang der Testlogik statisch auf L, so wechseln die Pegel an ihren Ausgängen. Damit wird der normale Impulsweg gesperrt. Nun liegt aber am unteren NAND-Eingangsteil H an dem einen und (ständig) die nur bis 2^{12}:1 geteilte Frequenz am anderen Eingang. Damit wird diese Frequenz an die weiteren Teiler durchgeschaltet. Sie ist noch um den Faktor 2^4 (entsprechend dem Teilerfaktor des nun »umgangenen« Teilers) höher. An 4 und 6 erscheinen dadurch nun »Schnellgang«-Impulse 16facher Frequenz, also 2 zueinander versetzte 8-Hz-Impulsfolgen. Dieser Schnellgang ist ein für manche sekundäre Einsatzmöglichkeiten des Schaltkreises wichtiges Detail.

Von Bedeutung für andere Anwendungen ist auch Eingang 3 (Start/Stopp, auch als Reset bzw. anschaulich als Run/Stopp bezeichnet). Bei Analoguhren ist er nur im Sinne eines Eintaktens nach dem Stellen der Uhr von Bedeutung. Man hält so für die Dauer von L an Anschluß 3 die Ausgänge auf den zuletzt eingenommenen Pegeln. Da dieser Eingriff aber die von der Start-Stopp-Logik beeinflußten Teilerstufen gleichzeitig in ihre Ausgangsstellungen rücksetzt, vergeht nach Freigabe von 3 erst eine Zeit von etwa 1 Sekunde (im Hauptbetriebsfall mit 4,19-MHz-Quarz), bevor die Ausgänge wieder umschalten. Für Einsatzfälle mit geringerer Eingangsfrequenz erhöht sich diese Zeitspanne. Außerdem wird dann die Tatsache wichtig, daß von diesem Reset die vor dieser Eingriffsstelle liegenden 16 Teilerstufen nicht berührt werden. Aus diesem Grunde mußte für den Reset im vorliegenden Zusammenhang eine andere Methode gewählt werden. Darüber mehr im entsprechenden Abschnitt.

Will man nun also diesen dafür recht interessanten Schaltkreis als Taktgeber für eine Digitaluhr einsetzen, so wird das Vorhaben zunächst durch den schwer erhältlichen Quarz erschwert. Man beachte auch den wichtigen Hinweis zur Frage, ob es sich beim vorhandenen Typ auch wirklich um die Angabe der Parallelresonanzfrequenz handelt! Allerdings hat sich herausgestellt, daß u. a. im Frequenzbereich unterhalb von etwa 250 kHz günstige Fertigungsbedingungen für Schwingquarze gegeben sind. Erinnert man sich nun des Schnellganganschlusses am Schaltkreis, so kann auch dies zu einem quarzgenauen Sekundentakt führen: Bei einem Teilerfaktor von 2^{19} liefert ein Quarz von 524 288 Hz Sekundenimpulse an jedem Schaltkreisausgang. Doch dieser Frequenzbereich erwies sich für die Quarzfertigung als nicht so günstig. Mit ein wenig Mehraufwand in Form einer Verdopplerschaltung für die Taktfrequenz in der ohnehin nötigen Pegelanpaßstufe tut es jedoch ein Quarz von 2^{18} Hz = 262 144 Hz. Oder man nutzt das volle Teilerverhältnis und kann dadurch mit einem Quarz von 2^{23}/60 Hz oder 139 810,13 Hz sogar Minutenimpulse quarzgenau erhalten.

Beide Quarze sind vor einigen Jahren aus Anlaß von Bauplan 44 im VEB Kombinat NARVA speziell für den Elektronik-Versand Wermsdorf gefertigt worden. Bild 4 zeigt die für beide geeignete Einsatzschaltung. Je nach Quarzbestückung und sich daraus ergebender Verbindungsvariante (x–x, y–y) erhält man am Ausgang dieser Schaltung dem jeweiligen System (TTL oder CMOS) im Pegel angepaßte Taktimpulse im Sekunden- oder im Minutenabstand. Bereits für den genannten Bauplan entstand dazu ein Leiterbild, das in das Bauplan-Bastelbuch Nr. 2 aufgenommen worden ist und für das es eine ätzfeste *typofix*-Folie als Blatt 3 zu Bauplan 44 gibt. Es handelt sich um das *typofix*-Blatt Nr. 3124. Bei entsprechenden Händlerbestellungen kann es beim Hersteller, dem Grafischen Spezialbetrieb Saalfeld, sogar wieder aufgelegt werden.

Insgesamt sei jedoch nochmals darauf hingewiesen, daß der Betrieb dieser Uhrenschaltkreise bei Frequenzen wesentlich unterhalb von 4 MHz vom Hersteller nicht garantiert wird und daß also nicht jedes Exemplar bei einer so viel niedrigeren Frequenz noch im erwarteten Sinne arbeiten muß. Das gesamte Vorhaben ist also nur zu empfehlen, wenn man entweder sein eigenes Exemplar als geeignet getestet hat oder wenn einige preisgünstige Amateurschaltkreise zur Verfügung stehen, aus denen man

den günstigsten (der also auch noch mit der kleinsten möglichen Betriebsspannung exakt teilt) heraussuchen kann. Außerdem bleibt angesichts der relativ niedrigen Preise einfacher Modelle immer noch die unkonventionelle Empfehlung, sich des 1-s-Taktes aus einem Analog-Quarzwecker zu bedienen. Bei der realisierten Uhr setzt das allerdings noch 2 Teilerstufen von 6:1 und 10:1 voraus, um den beschriebenen Minutenzähler speisen zu können. Es hat den Vorteil, daß die Uhr dann um eine Sekundenanzeige erweitert werden kann.

3.3. Takt aus *B 555 D* und *E 351 D*

Er ist heute fast überall dabei – der »Alleskönner« *B 555 D*. Viel Literatur steht dazu zur Verfügung. Und manchmal traut man ihm auch mehr zu, als er vom Prinzip her kann. Dieses Prinzip eben besteht in den beiden Komparatoren, deren Eingänge so vorgespannt und verknüpft sind, daß 1/3 der Betriebsspannung die untere und 2/3 der Betriebsspannung die obere Schaltschwelle darstellen. Die Komparatoren haben keine unendlich hohe Verstärkung, die Schaltpunkte unterliegen also gewissen Schwankungen. Temperatur ist nicht ganz ohne Einfluß, und die Verläßlichkeit über Widerstände und Kondensator extern gewählter Zeitkonstanten ist eine Funktion der Betriebsspannung: je höher im Rahmen der zulässigen Grenzen, um so verläßlicher. Die obere Grenze liegt bei 15 V, und dort hat der *B 555 D* schon etwa 10 mA ständig fließenden Betriebsstrom. Ein Taktgeber also für netzgestützte Einrichtungen im Dauerlauf, für Kurzzeiteinsatz unter nicht extremen Temperaturbedingungen (etwa als Stoppuhr oder als Kurzzeitzähler) durchaus auch einmal nur batteriebetrieben, aber möglichst nicht mit zu kleiner Spannung, wenn es auf das überhaupt erreichbare Maß an Treffsicherheit ankommt. Und die ist zweifellos höher als beispielsweise beim Triggergenerator, dürfte allerdings schon von einem gut dimensionierten Schwingkreis übertroffen werden.

Zur Erinnerung zeigt Bild 5 die typische Taktgeberschaltung in Verbindung mit Bild 6, der immer wieder hilfreichen »Frequenztapete« zum schnellen Abschätzen der für eine bestimmte Frequenz nutzbaren Bauelementewerte. Dargestellt wurde der für Uhrenzwecke am meisten interessierende Bereich mit Taktzeiten zwischen 1/100 s (Stoppuhr) und 100 s (schließt Minutentakt ein). Es handelt sich also eigentlich um eine »Zeittapete«. Normalerweise findet man diese Darstellung für den Bereich zwischen 1 Hz und 1 MHz. (Siehe z. B. Band 213/214 der Reihe *electronica*.) Es zeigt sich, daß ein Minutentakt schon Werte für Kondensator und Widerstände erfordert, die nicht so leicht in hochwertiger Ausführung zu erhalten sind. Darum sei aus der soeben genannten Broschüre noch eine »Anleihe« gestattet. Im Rahmen eines Kapazitätsmeßzusatzes bewährte sich eine Kombination aus dem Timer *B 555 D* und dem I^2L-Teiler-Schaltkreis *E 351 D*. Auch der letztgenannte Typ hat auf Grund seiner Herstellungstechnik nur eine Stromaufnahme von wenigen Milliampere, muß allerdings in etwa mit 5 V betrieben werden. Wenn also schon netzgestützter bzw. nur kurzzeitiger Batteriebetrieb, warum dann nicht auch so wie nach Bild 7? Ein Teiler 1:100 läßt sich zwar inzwischen in CMOS ebensogut mit nur einem Schaltkreis realisieren, nämlich mit dem *V 4520 D*, und noch dazu mit wesentlich geringerem Strombedarf sowie weitem Spannungsbereich. Nur wäre er in Verbindung mit dem *B 555 D* eben wegen dessen merklicher Stromaufnahme eigentlich (noch) zu schade. Das kann sich ändern, wenn es ihn als Amateurtyp in genügender Menge preisgünstig gibt (auch der *E 351 D* war als sogenannter *P*-Typ preiswert erhältlich) und wenn es um häufigen Batteriebetrieb geht.

3.4. Spezialtakte

Immer wieder wird die Frage nach dem quarzgenauen Synchronisieren von netztaktgeführten Uhren gestellt. Das ist im Grunde jedoch durch einen bereits in Heft 12/83 der Zeitschrift »radio fernsehen elektronik« erschienenen Beitrag geklärt. Das Problem läßt sich nämlich mit einem *E 355 D* recht elegant lösen. Wo also noch ein solcher Schaltkreis vorhanden ist (es gab ihn auch als preisgünstigen Amateurtyp!), sollte man versuchen, im Sinne von Bild 8 zu verfahren. Der nötige 1-Hz-Takt kann, wie beschrieben, aus einem *U 124 D* o. ä. stammen.

Auch der *E 355 D* ist in Band 205/206 der Reihe *electronica* ausführlich behandelt worden. Er kombiniert, vereinfacht ausgedrückt, Funktionen von *B 555 D* und *E 351 D* in einem Gehäuse. Da die Schaltung nach Bild 8 in der genannten Quelle nur sehr knapp erläutert worden ist, soll sie im folgenden für den nicht speziell mit diesem Schaltkreis vertrauten Leser besser durchschaubar kommentiert werden.

Der mit einem RC-Glied extern einstellbare Generatorteil des *E 355 D* ist fest mit einem 1024:1-Teiler verbunden. Aus beispielsweise 65 kHz (mit R_A = 2,2 kΩ, R_B = 10 kΩ und C = 1 nF eingestellt) werden rund 64 Hz. Toleranzen bis dicht über die gewünschten 50 Hz werden akzeptiert. Denn: Der *E 355 D* arbeitet durch die Belegung der Programmiereingänge mit IC = H, IB = H und IA = L in der Funktion »astabiler Start-Stopp-Multivibrator«. Der dem Eingang I_{st} zugeführte 1-Hz-Takt startet mit seiner H/L-Flanke einmal je Sekunde den Generator, der – beginnend mit einer H/L-Flanke – nun bis zur folgenden L/H-Flanke des Taktes schwingen würde. Durch die Verknüpfung des Ausgangs OC mit dem Steuereingang übernimmt jedoch dieser Ausgang – da bei Start alle 4 Ausgänge (OA bis OD) dicht hintereinander von H auf L schalten – die »Haltefunktion«. Dadurch braucht der 1-Hz-Takt kein bestimmtes Tastverhältnis aufzuweisen. Bis zum Ausgang OC liegen 2 Teilerstufen mit jeweils einem 10:1-Teilerverhältnis. Das heißt, nach 50 intern gezählten Impulsen geht OC wieder auf H, weil nach 100 Eingangsimpulsperioden durch die Teilung 100:1 eben 1 Impulsperiode mit Tastverhältnis 1:1 entsteht (50 Impulse L, 50 Impulse H). Der L/H-Übergang stoppt den Multivibrator. Er wird erst von der nach insgesamt 1 s seit der 1. Auslösung eintreffenden nächsten H/L-Flanke des Zeittakts neu gestartet. Der Generator »stottert« also etwas. Die in den genannten (Import-)Uhren eingesetzten Schaltkreise nehmen das nicht übel. Andere Zähler würden sich letztlich genauso verhalten: Wenn eben nur 50 Impulse kommen, werden nur 50 gezählt, dann wartet man auf die nächsten. Was mit dieser Schaltung erreicht wird, ist eine von den Schwankungen der Netzfrequenz unabhängige Zeitanzeige. Mehr noch – jetzt kann die Uhr auch eine Stützbatterie für vorübergehenden Netzausfall erhalten. Wird sie nur den Schaltkreisen zugeordnet und trifft man Maßnahmen, daß so lange die Anzeige abgeschaltet wird, reicht schon eine kleine Batterie längere Zeit. Allerdings muß sie die für den Hauptschaltkreis erforderliche Mindestspannung sicherstellen.

Bild 9 zeigt, wie man Takt- und Uhrenschaltung pegelgerecht koppeln kann. Zwar stand kein Testmodell zur Verfügung, doch läßt sich z. B. die in der »Schaltungssammlung für den Amateur«, 3. Lieferung (1982) auf Blatt 5–6 enthaltene Schaltung zu Rate ziehen. Meist wird man also nur den dort am Takteingang eingezeichneten 100-kΩ-Widerstand von seiner jetzigen Lage vor der Diode hinter diese legen müssen und statt des 10-nF-Kondensators die Kollektor-Emitter-Strecke des Taktkoppeltransistors einfügen. Interessenten haben das selbst zu testen. Die Versorgung des Generators könnte ggf. nach Erhöhen des Ladekondensators der Ursprungsschaltung über eine 5,1-V-Z-Diodenschaltung oder besser einen von einer 5,6-V-Z-Diode gestützten *SF 126* o. ä. aus der Uhrenversorgungsspannung abgeleitet werden.

4. Zähler in CMOS

Es gibt mindestens 2 wesentliche Richtungen für den Einsatz von elektronischen Zählern: das Zählen von Ereignissen, die zeitlich zufällig auftreten können, und das Zählen von Impulsen einer Zeitbasis bzw. das Zählen von Impulsen, die innerhalb einer genauen »Torzeit« auftreten. Letztgenanntes entspricht z. B. der Funktion sowohl von digitalen Frequenzmessern wie auch von Digitalvoltmetern u. ä. Das Prinzip des fortlaufenden Zählens von Impulsen (meist bei ständiger Anzeige des erreichten Standes) wird dagegen bei der digitalen Zeitmessung benutzt. In diesem Falle muß die Informationsausgabe noch »formatiert«, also in den geläufigen Raster 60 (Sekunden), 60 (Minuten), 24 (Stunden) gebracht werden – außer vielleicht bei Kurzzeitmessungen.

Für die Ausgabe des Zählerstandes je Schaltkreis ist zwischen binärer, dekadischer und 7-Segment-Darstellung zu unterscheiden. Eine geeignete Verknüpfung von 4 Flip-Flop z. B. ergibt den klassischen Binärzähler: Das 1. Flip-Flop ändert seinen Ausgangszustand nach jedem 2., das 2. nach jedem 4., das 3. nach jedem 8. und das 4. nach jedem 16. Eingangstaktimpuls, d. h., der Ausgangspegel wechselt von L nach H oder umgekehrt. Der Auslöser für die Zählung, also die Zustandsänderung der Flip-Flop, kann

ein Übergang von L nach H oder von H nach L sein. Man erkennt das an der Richtung des Taktpfeils am Eingang im Schaltsymbol des Zählers.

Komfortablere Zähler gestatten die Wahl der Zählrichtung durch Anlegen eines entsprechenden Pegels am zugeordneten Steuereingang und (oder) auch Voreinstellen eines bestimmten Werts (»Laden des Zählers«). Diese Funktion übernimmt dann meist auch die Aufgabe des sonst im allgemeinen üblichen (nötigen) Rückstelleingangs, über den die Zählerausgänge alle auf einen bestimmten Anfangswert (z. B. LLLL oder HHHH) geschaltet werden. Typisches Beispiel dafür in TTL-Technik ist seit langem der *MH 7490 (DL 090 D* in unserer neueren Low-Power-Schottky-TTL-Reihe). Er läßt sich auf binäre 0 oder 9 stellen.

Damit sind wir wieder bei den Ausgängen. Aus dem binären wird ein dekadischer (bzw. Dezimal-) Zähler, wenn man ihn intern so verknüpft, daß die Impulsfolge von HLLH (also der binär kodierten 9) nicht weiter bis 15 (»F«, HHHH) weiterzählt, sondern daß der Zähler beim nächsten Impuls gleich wieder auf 0 (LLLL) schaltet statt auf 10 (binär mit dem Buchstaben A belegt). Typen wie der *V 4029 D* lassen sich über einen dafür vorgesehenen Eingang sogar wahlweise auf binäre oder dekadische Zählweise programmieren.

Die Weiterverarbeitung der binär kodierten Zahl von 4 Bit Breite, also über nur 4 Leitungen, hat für viele Zwecke Vorteile. In der Computertechnik ist das alltäglich. Dort wird ja bekanntlich ein »Wort« aus 2 »Nibbles« zu je 4 Bit zusammengefaßt, was 256 mögliche Werte ergibt.

Die uns geläufigere dezimale Anzeige von 0 bis 9 ist für die direkte Maschine-Mensch-Kommunikation zweifellos bequemer als etwa eine binäre Zeitausgabe, wo für 15 Uhr der Buchstabe E stehen würde. Die binäre Zählweise und Weitergabe hat daher vor allem in Aufbereitungsschaltungen z. B. des Taktes Sinn, ist aber selbstverständlich beim Koppeln von Zählern mit Computern (also Meßwertverarbeitung oder vielleicht eben auch Echtzeitausgabe) Voraussetzung für einfachen Datenverkehr.

Zur unmittelbaren Zeitanzeige muß aus den an den Ausgängen eines Dezimalzählers binär kodiert erscheinenden Werten über einen sogenannten Dekoder eine für die verwendete Anzeige verwertbare Information werden. Die heute dominierenden 7-Segment-Anzeigen in Form von Leuchtdioden (LED) und Flüssigkristall-Displays (LCD, für den Amateur noch etwas problematisch, siehe die eingangs angestellten Betrachtungen) erfordern also einen Dekoder. Er muß 4 »BCD«-Eingänge haben und 7 Ausgänge für die 7 Segmente der Ziffernanzeige. (Zur Erinnerung: BCD bedeutet binär kodierte Dezimalzahl.)

Für spezielle dezimale Anzeigearten, die sich bei Kurzzeitmessungen bewährt haben, bietet es sich jedoch an, ohne BCD-Umweg gleich mit einem speziellen Schaltkreis zu arbeiten. Das CMOS-Sortiment hält ihn in Form des *V 4017 D* bereit. Nur einem Eingang (direkt für den Zähltakt) stehen 10 bereits voll dekodierte Ausgänge gegenüber. Nur einer von ihnen ist jeweils aktiv, den Zahlenwerten von 0 bis 9 zugeordnet. Jeder Taktschritt schaltet den folgenden Ausgang auf H, alle anderen bleiben auf L. Im Gegensatz zu den bekanntesten Dekodern der TTL-Technik hat der *V 4017 D* also H-aktive Ausgänge.

Die Begriffe Zählen und Teilen liegen bei diesen Schaltkreisen bekanntlich eng nebeneinander. Während beim Zählen jede Änderung der Ausgangszustände genutzt wird, greift man beim Teilen jeweils an dem Ausgang ab, dessen Teilerverhältnis dem gewünschten entspricht. 2:1, 4:1, 8:1 und 16:1 sind mit Binärzählern leicht zu realisieren. Andere Verhältnisse erfordern zählweitenverändernde Rückführungen. (Bei Dezimalzählern sind solche Rückführungen bereits im Schaltkreis enthalten.) Manche Zähler, wie der *DL 090 D* in LS-TTL-Technik und sein TTL-Gegenstück, der *MH 7490*, erleichtern die Wahl anderer Verhältnisse durch ihre Stelleingänge. Der *V 4017 D* dagegen bietet ohne Zusatzaufwand beliebige ganzzahlige Teilungen von 2:1 bis 10:1. Allerdings – im Gegensatz zu den vorher genannten Binärtypen – hat der H-Impuls, z. B. bei Teilung 10:1, jeweils nur 1/10 der Periodendauer, bei jenen aber 1/2. Das kann bisweilen von Bedeutung sein – es kommt auf die weitere Schaltung an.

Die für kompakte Schaltungen mit 7-Segment-Anzeigen attraktivste Variante des CMOS-Zählers steht (bei Erscheinen dieses Textes hoffentlich auch ausreichend als Amateurtyp) im *V 4520 D* zur Verfügung. Er enthält 2 Binärzähler mit BCD-Ausgängen. Allerdings zählen sie nur vorwärts, und auch voreinstellen lassen sie sich nicht. Das ist der Vorteil des Einfachzählers *V 4029 D*, der dafür genügend Anschlüsse hat und so den größeren Funktionsspielraum bei minimaler Zusatzschaltung erlaubt.

Bild 10 gibt Informationen zum *V 4520 D*, und Tabelle 2 hilft bei Überlegungen zu Zählweitenbegrenzungen und anderen Verknüpfungsfragen.

Die Wahl des Dekoders wird von mehreren Faktoren bestimmt. So gelangten etwa bis 1985 große Mengen der Amateurvariante des *U 40511 D* als *S 40511 D* in den Amateurbedarfshandel. Dieser CMOS-Dekoder mit bipolaren Ausgangsstufen liefert »aktiv H«. Eine 1 beispielsweise wird also durch H an den Ausgängen für die Segmente b und c der LED-Anzeige gemeldet. Man braucht darum Anzeigen mit gemeinsamer Katode. Solche Anzeigen standen im genannten Zeitraum zunächst noch als *VQB 37* in Miniaturform zur Verfügung. In Form der *VQE 23* waren danach große Anzeigen gleich als Doppelziffer erhältlich. Die infolge des *C 520 D* einsetzende Welle von Digitalvoltmeter-Eigenbauten mag ein Grund dafür gewesen sein, daß im Erarbeitungszeitraum des in den folgenden Abschnitten beschriebenen Objekts für den Amateur Beschaffungsprobleme auftraten. Das betraf sowohl den *40511* – gleichgültig, ob als Basteltyp oder als neuer *V 40511 D* mit an das übrige Sortiment angepaßtem erweitertem Einsatztemperaturbereich – als auch die *VQE 23*.

Nun muß man sich aber für jedes geplante Objekt zu irgendeiner sinnvollen Lösung entschließen, die möglichst komplett ist und für die sich eine Leiterplatte entwickeln läßt. Und auf ebendiese genannte Kombination fiel aus mehreren Gründen die Wahl. Die BCD-Informationen des Zählerteils werden jedoch an die Dekodereingänge »neutral-binär« weitergegeben. So steht jedem Leser bei minimalem Änderungsaufwand – zumindest beim Grundmodell – die Möglichkeit offen, durch Einsatz der üblichen L-aktiven TTL-Dekoder mit Anzeigen mit gemeinsamer Anode arbeiten zu können. An Dekodern stehen dabei der »klassische« *D 147 D* und – genügsamer im Strombedarf – die Reihe *D 345 D* bis *D 348 D* bereit. Letztgenannte brauchen nicht einmal Begrenzungswiderstände für den Segmentstrom, da es sich um sogenannte Stromquellendekoder handelt.

Anzeigen mit gemeinsamer Anode sind u. a. die Doppelanzeige *VQE 24* und die gute alte *VQB 71* als Einzelanzeige. Diese braucht allerdings eine spezielle Leiterplatte, während die Anschlußbilder und die Leiterführungen der TTL-Dekoder-*VQE*-Kombination nahezu unverändert benutzt werden können. Über die wenigen nötigen Änderungen informiert Bild 11.

Allerdings schränkt dieser Ausweg den Freiheitsgrad der Schaltung ein, was die Versorgungsspannung betrifft: TTL-Dekoder brauchen eine möglichst wenig von 5 V abweichende Betriebsspannung (5 V ± 5% beim *D 147 D* bzw. ± 10% bei der Reihe *345*). Außerdem zwingt der Strombedarf zu weiteren Maßnahmen, sowohl was die Auslegung des Netzteils selbst betrifft als auch die Frage von Netzausfällen.

5. Eine Uhr in CMOS

Das im folgenden vorgestellte Objekt entstand bereits Anfang 1986, als gerade alle benötigten Schaltkreise (prinzipiell) verfügbar geworden waren. »Prinzipiell« soll heißen: Das CMOS-Produktionssortiment war voll in Serie gegangen, und zu allen *V*-Typen waren Amateurtypen mit entsprechender Kennzeichnung in Aussicht. Verlag und Autor können – was im Grunde stets so ist – nicht vorhersehen, wie die Bereitstellungssituation auf Amateurebene 1 Jahr später und darüber hinaus aussehen wird. Erfahrungsgemäß erscheint es jedoch noch immer sinnvoller, auf Typen einer in großen Stückzahlen produzierten, multivalent eingesetzten Schaltkreisfamilie zu orientieren als etwa auf irgendwelche Spezialtypen. Mehr läßt sich wirklich nicht sicherstellen. Der Leser möge das bedenken. Im übrigen sollen hier nicht nochmals die Argumente aus dem einleitenden Abschnitt aufgezählt werden.

Es sei jedoch gestattet, an den Begriff der Spielwiese (mit Lerneffekt) anzuknüpfen. Dabei wird unterstellt, daß die bis zum Erscheinen hoffentlich auch komplett erhältlichen *S*-Typen auf entsprechend günstigem Preisniveau liegen. So schien es angemessen, eine Art Experimentalaufbau anzubieten, dessen Gesamtumfang im Gebrauchswert der Leser auch ein wenig selbst bestimmen kann. Einerseits wird nämlich in der Grundversion ohne Quarz gearbeitet (und das, wie die Erprobung inzwischen gezeigt hat, unter bestimmten Randbedingungen mit erstaunlich guten Ergebnissen!). Der Taktgeber liefert Minutenimpulse ohne zwischengeschaltete Sekundenausgabe. Andererseits zeigte sich bei der Arbeit am Modell unter den Bedingungen eines Amateurarbeitsplatzes, daß auch CMOS-Technik für manche Impulse aus der unmittelbaren Umgebung doch recht empfänglich sein kann – vor allem, solange noch nicht der kompakte endgültige Aufbau vorliegt. Der Test auf die Wirksamkeit einer eingebauten Entstörmaß-

nahme bestand meist darin, den Trenntransformator des 16-W-Niederspannungslötkolbens unter Last über den Stecker vom Netz zu trennen und wieder anzuschließen. Eine solche Folge genügend schnell hintereinander ausgelöster Impulse greift auf eine auf demselben Arbeitstisch stehende Versuchsschaltung dann doch durch. Das wird gefördert durch Speisen der Schaltung aus einer vom selben Netzkreis versorgten Spannungsquelle. Eine mit Schaltungsmasse verbundene Schirmplatte und eine Störschutzdrossel in Stabkernformat vermochten das in der Ursprungsschaltung nicht 100%ig zu unterbinden. Darum wurden schrittweise (solche Tests sind recht zeitaufwendig!) Maßnahmen eingebaut, die sich ebenso schrittweise – leider – von den herstellerseits vorgegebenen Impulsbedingungen entfernten. Konkret: je störsicherer, um so flacher zwangsläufig auch der Anstieg der Nutzimpulse.

Das war im Grunde eine Erfahrung, die diese Uhr in die Nähe der TTL-bestückten aus den Bauplänen 40 und 44 rückte. Allerdings war das so ziemlich die einzige Gemeinsamkeit in den Problemen. So kann aus der Langzeiterfahrung mit jener jedoch gefolgert werden: Unter normalen Umgebungsbedingungen und im geschlossenen, schirmenden Gehäuse ohne als Antennen wirkende zusätzliche Leitungen (außer der Versorgungsleitung) dürfte es möglich sein, auch mit wesentlich kleineren Kapazitätswerten auszukommen. Im Versuchsmuster lagen sie zudem auch dicht an der von der Ausgangsbelastbarkeit her zulässigen Grenze.

Geht man weiterhin davon aus, daß diese Uhr – schon vom Prinzip ihrer Anzeige her – doch meist netzgestützt betrieben wird, so kann man 1 oder 2 mA über dem sonst auch nicht wesentlich höher liegenden Grundbedarf akzeptieren. Dieser Grundbedarf wiederum ist hauptsächlich durch den Ruhestrom des *B 555 D* für die Helligkeitsregelung bedingt, die ihrerseits wieder nur bei Netzbetrieb Sinn hat. Bei Transport oder anderer Netztrennung kann dieser Schaltungsteil einschließlich des *B 555 D* leicht automatisch stillgelegt werden.

Jedenfalls erscheint es akzeptabel, die nach Plus geführten Pegelwiderstände an den Eingängen auf einige zehn Kiloohm zu verringern. So lassen sich schließlich zusammen mit den verkleinerten Kapazitätswerten doch wieder Flankensteilheiten unterhalb der vom Hersteller angegebenen Höchstgrenze von 15 µs erreichen. (Obwohl eben das Muster auch mit der extremen Beschaltung mit jeweils 100 kΩ und 4,7 nF einwandfrei arbeitet!)

Es empfiehlt sich, diese den baupraktischen Teil einleitenden Bemerkungen nach den ersten eigenen Erfahrungen nochmals zu lesen und für sich neu zu bewerten.

5.1. Funktionsumfang

Die Leiterplatte des Grundmodells bietet folgende Eigenschaften:
- Anzeige der Uhrzeit im 24-Stunden-Format mit Stunden- und Minutenausgabe.
- Schaltkreisbestückung: 2 × *V 4520 D*, 4 × *V 40511 D*, 1 × *V 4011 D*.
- Unterdrückte Führungsnull bei den Zehnerstunden.
- Von der Umgebungshelligkeit automatisch geführte Helligkeit der Ziffernanzeigen gegen Blendwirkung im Dunklen und zur besseren Erkennbarkeit im Hellen.
- Schaltkreisbestückung des Helligkeitsreglers: 1 × *B 555 D*.
- Minutentakterzeugung über LC-Schwingungskreis unterhalb des Langwellenbereichs in Verbindung mit Analoguhrenschaltkreis zur Teilung auf Minutentakt.
- Schaltkreisbestückung: 1 × *U(S) 114 D* oder *U(S) 124 D*.
- Erreichbare Genauigkeit dieser Variante unter günstigen Bedingungen relativ hoch, am Muster Fehler nach sorgfältigem Abgleich nur 1 s/Tag (stabiler Aufbau, Schirmung; Temperatur und Spannung relativ konstant).
- Nennbetriebsspannung 6 V, bei Zimmerhelligkeit 60 mA Stromaufnahme, die im Dunklen bis unter 5 mA absinkt.
- Für Transport und Netzausfälle genügt eine 4,5-V-Stützbatterie (automatische Übernahme der Versorgung).
- Problemloses Stellen durch getrenntes Stunden- und Minutentakten in Schritten eines (etwa) Sekundenrhythmus, erreichbar durch starkes Bedämpfen des Schwingkreises oder durch dessen Kurzschließen.
- Rücksetzmöglichkeit für alle Stufen einzeln oder gemeinsam.

Als Leiterplatte vorliegende Ergänzung:

- Weckzusatz mit Intervallton, vorwählbar im 5- oder 10-Minuten-Raster; bei 5-Minuten-Raster 1 Minute Signalton, der sich bei 7 für nochmals 1 Minute wiederholt; im 10-Minuten-Raster Signaldauer 10 Minuten.
- Schaltkreisbestückung: 2 × *V 4028 D*, 1 × *V 4011 D*.

Veränderungsmöglichkeiten der Grundplatte:
- Schwingkreis ist durch Spezialquarz von 139,... kHz ersetzbar (siehe Text).
- Sekundentaktung z. B. aus Uhrenbaustein einer Analogquarzuhr ist möglich, wenn Teiler zwischengeschaltet wird.

5.2. Zählschaltung mit Formatsteuerung

An Hand der Gesamtschaltung nach Bild 12 werden nun die einzelnen Schaltungsteile vorgestellt. Insgesamt liefern die beiden 2fachzählerschaltkreise *V 4520 D* (D1, D4) an 4 Dekoder vom Typ *V (U, S) 40511 D* (D2, D3, D5, D6) die BCD-Information über ihre Zählerstände. Der Minutenzähler (D1/1) empfängt Minutentaktimpulse aus dem Taktgeber (siehe 5.3.). Er zählt von 0 bis 9 und liefert jeweils beim 10. Impuls einen Taktimpuls für den Zehnerminutenzähler (D1/2), der also jeweils von 0 bis 5 zählt. Üblicherweise wird das Zählformat dieser ursprünglich von 0 bis 15 zählenden Schaltkreise mit einem Gatterschaltkreis begrenzt. Das spart bei CMOS sogar Energie und bringt durch die von den Gatterausgängen geführten Eingänge eine höhere Störfestigkeit. Die in Bild 12 gewählte Art ergibt eine einfachere Leiterplattengestaltung und ist auch für den Anfänger übersichtlicher. Im 2. Zählerteil wird dann jedoch aus anderen Gründen eine solche Gatterschaltung eingesetzt.

Bei der Diodenrückführung wird der Reseteingang über einen relativ hochohmigen Widerstand (um Ruhestrom zu sparen) für den Augenblick der Rückstellung auf H gezogen. Das geschieht nur, wenn alle Dioden durch H von den ihnen zugeordneten Ausgängen gesperrt werden. Das ist beim Zähler D1/1 der Fall, wenn gerade die Ausgangskombination 10 (HLHL, von O3 nach O0 gesehen) erreicht wird. Dadurch stellt sich der Zähler nach 9 auf 0. Nun führen alle Ausgänge L, und R liegt ebenfalls wieder auf L-Pegel. Damit beginnt der nächste 10-Schritt-Zählzyklus (0 bis 9).

Zählen von 0 bis 5 (D1/2) erfordert sinngemäß das Rückführen der L-Information von den Ausgängen O1 und O2. (6 entspricht LHHL.)

Zwischen R und den Dioden liegt in Bild 12 ein Widerstand. Man braucht ihn nur, wenn auf die im Bild enthaltene Rücksetzmöglichkeit auf 0 (jede Stufe einzeln oder alle gemeinsam) Wert gelegt wird. Ohne diesen Widerstand würden die jeweils gerade auf L liegenden Dioden einwandfreies Reset-H am Eingang R verhindern. Außerdem würden dann die Ausgänge unnötig durch den in sie hineinfließenden Strom belastet werden.

Die beiden Stundenzähler werden durch einen NAND-Gatterschaltkreis (D7) formatiert. Er übernimmt außerdem die Tagesrückstellung. Nach 23 Uhr 59 Minuten muß ja die Anzeige 00 00 folgen. Um mit 1 × *V 4011 D* auszukommen, wurde noch ein Transistor quasi als 5. Gatter in Verbindung mit Dioden eingesetzt.

Die Gatterlösung kann im Prinzip auch auf die Minutenseite angewendet werden. Zumindest vermag der an solcher Änderung Interessierte den Lösungsweg aus diesem Teil des Bildes abzulesen. Man erkennt zunächst, daß nun infolge der Gatterausgänge keine zusätzlichen pull-up-Widerstände für die Eingänge R und C benötigt werden.

Ausgang 11 von Gatterschaltkreis D7 sorgt für den Stundenreset. (Die über den Ausgang 10 invertierten H-Pegel von O1 und O3 des Stundenzählers ergeben H an 11.) Außerdem liefert Ausgang 11 den Taktimpuls für die letzte Zählstufe. Ausgang 4 setzt die Zehnerstunden zurück. (Die H-Pegel von O0 und O1 bei Übergang zur Ziffer 3 stehen am Ausgang 3 invertiert zur Verfügung und werden an Ausgang 4 wieder zu H.) Der 2mal je Tag von 0 bis 9 durchlaufende Stundenzähler muß im 3. Zyklus beim Übergang von 3 auf 4 rückgesetzt werden. Während Ausgang 10 von D7 von O1 und O3 her die Rückschaltung bei 9 auf 10 besorgt, genügt die Dekodierung des nächstfolgenden 1. H an O2 des Stundenzählers D4/1, das bei Übergang auf Ziffer 4 auftritt, zusammen mit dem bei 2 an O1 von D4/2 erscheinenden H, um das Transistorgatter durchzuschalten. Das bewirkt (infolge der Trenndiode ohne Rückwirkung auf Ausgang 10!) L am Eingang 12, also Reset-H an Eingang R von D4/1 sowie eine Zählflanke am Eingang C1 von D4/2. Diese Flanke schaltet den Zehnerstundenzähler von 2 auf 3. Das

ergibt aber sofort (und erstmals) sowohl an O0 als auch an O1 gleichzeitig H, so daß Ausgang 3 auf L schaltet. Daraus wiederum wird – invertiert – H für den Reset auch des Zehnerstundenzählers, wie bereits beschrieben.

Letztes Detail der Formatsteuerung ist das Unterdrücken der Führungsnull im Anzeigenbereich von 0 Uhr bis 9 Uhr. Dafür gibt es am Dekoder den Eingang BI (»blanking input«). Er reagiert auf L und sperrt dann die Anzeige. Bei diesem Typ heißt das, daß alle Ausgänge auf L schalten. Als extrem hochohmiger CMOS-Eingang erkennt er es als L noch an, wenn man ihn beispielsweise über 68 kΩ an Masse legt. Sobald nun (ab Ausgabe der 1) einer der Ausgänge O0, O1 auf H geht, gibt BI die Anzeige frei, weil die zugeordnete Diode diesen Eingang auf H zieht.

Auf eine die Leiterführung erleichternde Einzelheit bei der Verbindung von D4/2 mit D6 sei noch hingewiesen. Da in dieser Stufe nur von 0 bis 3 gezählt wird (bei 3 Reset), werden O2 und O3 nicht gebraucht. Für diesen Zahlenbereich genügt eine Darstellungsbreite von 2 Bit. Am Dekoder müssen die nichtbenutzten Eingänge aber auf L gelegt werden, damit der Dekoder die volle Zahleninformation empfängt, nämlich LLXX (von O3 nach O0 zu gesehen), denn er dekodiert intern auf jeden Fall 4-Bit-Informationen. Bei CMOS wäre das Offenlassen der Eingänge I2 und I3 zwar aus den bekannten Gründen ohnehin nicht zulässig. Hätte man sie aber an H gelegt, so würde das der Dekoder als Zahlenwerte ab 12 interpretieren und mit der Ausgabe der Buchstaben C, d, E antworten (kleines d wegen der 7-Segment-Darstellung).

Auch in der Zehnerminutenstufe wird nicht die volle Übertragungsbreite benötigt. Dort könnte man I3 von D3 direkt an Masse legen und O3 von D1/2 offen lassen. Das würde eine Brücke auf der Leiterplatte sparen. Man kann es auf Grund der Leiterführung leicht so ändern. Die jetzige Auslegung erlaubt es dagegen, quasi diese Hälfte der Uhr auch einzeln als Zähler von 00 bis 99 zu nutzen und »modular« – vielleicht auch 2mal nebeneinander – aufzubauen. Dabei ist lediglich noch V4 von O2 (D1/2) an O3 zu legen. Läßt man das so, ergibt sich eine Stoppuhranzeige von 00 bis 59 bei Einspeisen eines Sekundentaktes. Wie man diesen wiederum auch quarzgenau gewinnt, geht aus den vorangegangenen Abschnitten hervor. Das ist im übrigen die beste Art, durch »Vorsetzen« einer solchen 2er-Anzeigegruppe und einen Quarztakt zu einem 6stellig anzeigenden und eben quarzgenau erweiterten Modell zu gelangen. Voraussetzung: 2mal (genauer $1^1/_2$mal) die *typofix*-Folie und einiges mehr an Bauelementen. Es gibt noch weitere solcher Ausbaumöglichkeiten.

Bei Zählbetrieb mit höheren Taktfrequenzen als 1 Hz allerdings bedenke man die »C-gebremsten« Eingänge. Für solche Einsatzfälle, die ja meist doch keinen Dauerbetrieb bedeuten, können die Widerstände nach Plus im Wert stark verringert und die Kondensatoren auf Werte unter 100 pF gelegt werden. (Ganz ohne sie könnte es sonst vielleicht bezüglich der Mindestdachbreite der Impulse irgendwann Probleme geben.)

5.3. Takterzeugung und Stellfunktionen

Auf die unkonventionelle Takterzeugung mit einem Schwingkreis ist schon in Abschnitt 5.1. hingewiesen worden. Abschnitt 3.2. gibt im Grunde dazu bereits alle wesentlichen Informationen. Konkret wurde, da die Wahl der Kreiskapazitäten einen relativ großen Spielraum läßt, eine gerade vorhandene kleine offene HF-Spule mit eingeklebtem Ferritkern eingesetzt. Den für den Minutentakt ermittelten C-Werten nach liegt sie bei etwa 0,7 mH. Mit etwa 1,8 nF Gesamtkapazität als Ausgangswert und ohne jeden Einsatz elektronischer Meßmittel (bis auf eine LCD-Armbanduhr) gelang es relativ schnell, den gewünschten Minutentakt zu erzielen. Letztlich sind das ja auch die Bedingungen, unter denen die meisten Bauplanleser arbeiten.

Der Schwingkreis liegt zwischen Eingang und Ausgang des Inverters (Anschlüsse 10 und 9 des *U 124 D* o. ä.). Die beiden von da nach Masse geschalteten Kapazitäten gehen als Serienschaltung mit in die Kapazitätsbilanz ein: $1/C_S = 1/C3 + 1/C4$. Der Wert von C_S wird den direkt parallel zur Spule liegenden Kondensatoren C1, C2 und C_A addiert, die Summe ergibt die wirksame Kreiskapazität. Dazu kommt ein von Aufbau und Schirmung abhängiger Wert, der durchaus noch einige zehn Pikofarad betragen kann. Die Größenordnung von 2 nF Kreiskapazität ist für einen bei rund 140 kHz arbeitenden Schwingkreis noch ein akzeptabler Wert. Ein größerer Wert von L und damit kleineres C lassen den Schwingkreis stärker von den Umgebungsbedingungen abhängig werden. Das betrifft zum einen die zusätzliche und u. U. – je nach Stabilität des Aufbaus – veränderliche Kapazität zur Umgebung. Zum

anderen bringen Metallflächen eine Bedämpfung des Kreises, die seine Resonanzkurve verflachen. Beides wirkt sich auf die Stabilität der Zeitanzeige aus.

Vielleicht sind es solche Faktoren, die oft dieses recht wirtschaftliche Prinzip der Takterzeugung in Frage stellen. Dabei hat sich am vorliegenden konkreten Objekt gezeigt, daß bei Berücksichtigung dieser Gegebenheiten eine für den »Hausgebrauch« recht gute Konstanz erreichbar ist – eben auch ohne Quarz.

Die folgende kleine Rechnung klärt, wieso selbst recht klein erscheinende Veränderungen am Trimmkondensator über den Tag gesehen große Zeitfehler bringen können. Das sind also nicht aus der begrenzten Konstanz der Schaltung selbst entstehende Fehler, sondern es wurde einfach die Größenordnung der Änderung falsch eingeschätzt. Daraus resultieren 3 Folgerungen:

- Stabiler Aufbau und damit feste Bezugslage der Schwingkreiselemente bringen die gewünschten guten Ausgangsbedingungen.
- Sorgfältiger Abgleich erlaubt es, eine hohe Ganggenauigkeit zu erreichen.
- Der Trimmkondensator soll keinen zu hohen Variationsbereich haben, da schon 1 pF Änderung in der vorliegenden Dimensionierung zu 2 s/h Vor- oder Nachgehen führen kann. Es kann also durchaus sinnvoll sein, dem Trimmer einen Kondensator von ähnlichem Wert in Serie zu schalten, damit die Stellgenauigkeit wächst.

Doch nun zur Rechnung. Die Schwingkreisgleichung lautet bekanntlich $f = 1/2\pi\sqrt{LC}$. Der für die Uhr nötige Wert wird also durch die Konstanz von C und L beeinflußt. Beide gehen mit ihrer Wurzel in das Ergebnis ein. Setzt man einmal L als (ideal) konstant voraus, genügt für das Berechnen der Wirkung einer C-Änderung die Wurzel aus dem Quotienten beider C-Grenzwerte.

Bereits mit den beiden Grenzwerten 1800 und 1801 pF ergibt das einen Wert, der, mit der Anzahl der Sekunden eines Tages (86400) multipliziert, zu fast 48 s Abweichung führt. Dieses erstaunlich hohe Ergebnis zeigt, wo das Hauptproblem für die Ganggenauigkeit der Uhr liegt.

Es blieb nicht aus, daß der Autor selbst am vorliegenden Objekt dazugelernt hat, was diese Größenordnungen betrifft. Das schrittweise entstandene Gerät konnte deshalb nicht jedesmal wieder von vorn neu gebaut werden. Manches ist also nicht unbedingt optimal, vom jetzigen Erkenntnisstand aus. Das sei vor allem bezüglich der während dieser Arbeiten entstandenen Fotos gesagt, die also mehr das technologische Vorgehen demonstrieren.

Es war z. B. nötig, in dem als »Wandvariante« relativ flachen Modell die Kupferpartie der Deckplatte über der Spule um etwa 2 Spulendurchmesser in Länge und Breite abzuschälen, damit der Generator überhaupt arbeiten konnte. Die Eigenart des Schaltkreises bedingt, daß anderenfalls der Minutenzähler nahezu im Sekundenrhythmus läuft. Aus dieser »Not« läßt sich die »Tugend« eines wahlweisen Schnellgangs ableiten: Schon ein Metallplättchen über dieser Stelle ergab diese für Stellzwecke günstig hohe Frequenz. Besser definiert erreicht man es aber mit einem Mikrotaster. Im Entwicklungsmuster paßte er direkt an die Stifte der verwendeten Spule und brauchte so keine weiteren Befestigungspunkte. Über eine kleine Bohrung in der Bodenplatte ist er leicht zu erreichen, ohne daß er versehentlich aktiviert wird.

Die genaue Schwingkreisfrequenz interessiert zwar nur, wenn ein geeigneter Frequenzmesser zur Verfügung steht, der selbst den Kreis nicht verstimmen oder belasten darf. Für die Auswahl der Schwingkreiselemente genügt der schon genannte Richtwert. Letzten Ausschlag gibt ja das Ergebnis – genaue Minutenimpulse und damit eine möglichst exakte Zeitanzeige.

Der Generator muß auf etwa 139,81 kHz schwingen, denn diese Frequenz wird vom Schaltkreis $2^{23}:1$ geteilt. An jedem der für den Haupteinsatzfall Motorsteuerung erforderlichen Ausgänge erscheinen dann Impulsperioden von je 1 Minute Länge. An einem dieser beiden Ausgänge liegt nun ein Transistor als relativ hochohmiger Pegelwandler. Weitere Überlegungen zu anderen Kombinationen von Eingangstaktfrequenz und Schaltkreisbeschaltung sind bereits in Abschnitt 3.2. zu finden. Dabei sei vor allem auf den Schnelltakteingang (Anschluß 7) hingewiesen, der den Takt durch Umgehen einer der Teilerketten des Schaltkreises 16fach beschleunigt, wenn man 7 an Masse legt.

Dem Uhrenschaltkreis fehlt ein Resetanschluß, der auf alle Teiler wirkt. Für den normalen Einsatz hat das keine Bedeutung. Bei Minutenimpulsen spielt die unsichtbare augenblickliche Stellung der Teiler dagegen eine große Rolle. Damit nun (nach »menschlichem Ermessen«) beim Stellen der Uhr alle Teiler vom Grundzustand aus starten, gibt es eine triviale, aber sehr brauchbare Möglichkeit. Die Tatsache, daß der *U 124 D* (o. ä.) mit nur 1,5 V betrieben wird, erleichtert einen solchen »Totalreset«: Die Betriebsspannung wird gemäß Bild 12 mit einem Vorwiderstand und einer Leuchtdiode *VQA 13* oder *VQA 15* gewonnen. Diese Dioden weisen eine Flußspannung der gewünschten Größe auf. Rund 1 mA Strom-

bedarf ergibt sich aus dieser Lösung. Mit einem *B 589 N* könnte zwar noch gespart werden, doch aus 2 Gründen hat das nur begrenzten Sinn: Die Betriebsspannung wird mit 1,23 V schon etwas knapp, und der Steuerstrombedarf des Transistors setzt auf jeden Fall eine Grenze, unter die man mit dem Strom in diesem Zweig nicht gehen kann.

Die soeben beschriebene Schaltung erlaubt jedenfalls, durch einfaches Kurzschließen der Betriebsspannungsanschlüsse des Uhrenschaltkreises einen Reset zu erzwingen. Nach Lösen dieses kurzzeitigen Kurzschlusses beginnt der Schaltkreis erfahrungsgemäß im Grundzustand der Teiler.

Bevor jedoch ein solches Eintakten bei voller Minute Sinn hat, muß die Uhr gestellt werden. Der bereits kurz erwähnte Schnellgang hilft dabei. In Normalstellung lassen sich bereits einfach durch Betätigen des Mikrotasters am Schwingkreis die Minuten stellen. Vorher sollte man das jedoch mit den Stunden tun. Da es recht langwierig wäre, dies vom Minutenteil aus zu takten, wurde ein Umschalter vorgesehen. In Bild 12 hat er die Bezeichnung S3. Aus der gezeichneten Normalstellung schaltet man ihn dazu für die Dauer des Stundenstellens nach rechts. Es sind folgende Stellschritte nötig:
- Auf Stundenstellen schalten. Dabei rückt die Anzeige meist schon um 1 Schritt weiter.
- Mit Mikrotaster Schwingkreis kurzschließen oder mit Metallplättchen von außen stark bedämpfen (ein Stück kupferkaschiertes Material genügt).
- Je nach derzeitiger Minutenanzeige auf aktuelle Stundenanzeige oder 1 Stunde darunter stellen. (Letztgenanntes ist nötig, wenn die Minuten über 59 hinaus gestellt werden müssen, z. B. von Anzeige 52 auf Anzeige 02.)
- Auf Normalstellung (links, Minuten) zurückschalten.
- Mit Taster oder Bedämpfungsplättchen Schwingkreis wieder auf Schnellgang bringen, bis die der Echtzeit folgende Minutenanzeige erreicht ist.
- Resetschalter betätigen und so lange auf »Aus« lassen, bis Echtzeit der Anzeige entspricht. Dann sofort auf Lauf zurückschalten.

Es wird nicht ausbleiben, daß man diese Prozedur nach Fertigstellung der Uhr zunächst über einige Tage hinweg mehrere Male abwickelt. Das wird vor allem schon darum notwendig sein, weil ja zunächst je nach vorhandener Spule der Bereich mit Ändern der Kondensatoren oder auch mit Kernabgleich eingegrenzt werden muß. Anfangs wird sich bereits nach wenigen Minuten zeigen, ob die Frequenz zu hoch liegt (dann Kern eindrehen bzw. C vergrößern) oder zu tief (dann wird das Umgekehrte erforderlich). Aus der angedeuteten Rechnung kann schnell ermittelt werden, wie groß je nach dem Faktor des Schneller- oder Langsamergehens der Eingriff sein muß. Ist der Sollbereich so weit erreicht, daß der Trimmer für letzte Abgleicharbeiten zur Wirkung kommt, muß unbedingt der Spulenkern zuverlässig festgelegt werden. Geschieht das beispielsweise mit flüssigem Wachs, darf dieses nicht die Verhältnisse der Wicklung verändern. Sie sollte schon vorher einen Feuchteschutz erhalten haben, denn jedes Tränkmittel erhöht die Spulenkapazität (und verändert auch die Güte).

Bei Arbeiten am Trimmer wird ein nichtmetallischer Schraubendreher gebraucht. Metallisches Werkzeug bringt erfahrungsgemäß beim Berühren – trotz Isoliergriffes! – Potentialsprünge, so daß die Uhr verstellt werden kann.

Abschließend sei nochmals wiederholt: Man kann aus diesem Prinzip eine gute Ganggenauigkeit herausholen, jedoch nur, wenn der Aufbau stabil ist und von außen auf das System keine kapazitäts- oder güteverändernden Einflüsse einwirken können. Auch größere Spannungs- und Temperaturschwankungen sollten aus diesen Gründen vermieden werden. Direkte Sonneneinstrahlung und Zugluft können schnell aus einer Sekunde je Tag mehrere Sekunden werden lassen – es wäre schade um die Mühe!

5.4. Helligkeitsregelung

Bereits zum Grundgerät gehört die Helligkeitsregelung der Anzeigen. Wer darauf keinen Wert legt, braucht nur diese Schaltungsteile unbestückt zu lassen und dafür die Katoden der 4 Anzeigen direkt mit Masse zu verbinden. Doch der Aufwand liegt so niedrig, daß es eigentlich dafür keinen Grund gibt.

Die Regelung wirkt umgekehrt wie ein Dämmerungsschalter für Beleuchtungszwecke und außerdem stetig statt schaltend. Das heißt, die Umgebungshelligkeit ruft einen ihr proportionalen Flußstrom durch die Leuchtdioden hervor. Das ergibt gute Erkennbarkeit im Hellen (obere Grenze durch die Segmentvorwiderstände gegeben) und blendfreie Anzeige im Dunklen.

Da bei 4stelligem Uhrenbetrieb je nach Stand und bei unterdrückter Führungsnull zwischen 4 und 22 Segmente gleichzeitig aktiviert sind, muß der der Umgebungshelligkeit proportionale Fotowiderstandswert »digitalisiert« werden. Statt der viel zu aufwendigen Möglichkeit, jedes Segment einzeln zu steuern, werden alle gemeinsam durch Pulsbreitenmodulation beeinflußt.

Im *B 555 D* steht ein für diese Aufgabe gut geeigneter Schaltkreis zur Verfügung, sofern man, was erfahrungsgemäß meist zutrifft, mit weniger als maximal 9 mA Flußstrom je Leuchtsegment auskommt. Dann fließen maximal noch nicht ganz 200 mA – so viel, wie dem Ausgang des *B 555 D* zugemutet werden kann.

Der *B 555 D* wird dazu in einer modifizierten astabilen Beschaltung betrieben. Für den üblichen Generatorfall bestimmt der Widerstand zwischen den Steuereingängen und dem Entladeausgang (R15) auch die Ladezeit des Kondensators bis zur Schwelle $2U_{DD}/3$ mit. Durch Überbrücken mit einer Diode in Laderichtung, V14, wird C5 dagegen in der Ladephase von $U_{DD}/3$ an mit der anfangs wirksamen Differenzspannung $U_{DD} - U_{DD}/3 - U_F$ wieder bis auf den Wert $2U_{DD}/3$ geladen, wo die Entladung über R15 einsetzt, bis C5 wieder auf $U_{DD}/3$ entladen ist.

Setzt man nun für die Aufladung von U_{DD} her einen Fotowiderstand ein, dessen Widerstandswert von der Umgebungshelligkeit bestimmt wird, so reagiert die Schaltung im gewünschten Sinne und mit einem sehr großen Spielraum bezüglich des Impulsverhältnisses.

Infolge des in den Megaohmbereich gelangenden Dunkelwiderstands muß dem Fotowiderstand ein ohmscher Widerstand parallelgeschaltet werden. Das vermeidet Flackern der Anzeige im Dunklen infolge der dann sehr niedrigen Schwingfrequenz und legt den Mindestwert der Anzeigehelligkeit fest. 470 kΩ sind für diesen Widerstand angemessen. Die L-Zeiten sind dabei im Vergleich mit den H-Zeiten extrem klein.

Genau umgekehrte Impulsverhältnisse ergeben sich bei großer Umgebungshelligkeit. In diesem Bereich bewirkt die Diode, daß die sonst höchstens knapp 50 % L-Zeit auf Werte von über 95 % ansteigen. Damit erfüllt die Schaltung die an sie gestellten Bedingungen. Bei Einsatz der Kombination *V 40511 D/VQE 23* können die Betriebsspannung und die Vorwiderstände daher für die gewünschten Maximalströme so gewählt werden, als ob der Ausgang des *B 555 D* ständig durchgeschaltet bliebe – der Unterschied ist sehr gering.

5.5. Weckzusatz

Mit 2mal *V 4028 D* und 1mal *V 4011 D*, 2 Transistoren und einigen Dioden läßt sich die Uhr zum Digitalwecker aufwerten. Der relativ geringe Mehraufwand ergibt sich zum einen aus der meist ausreichenden 5- oder 10-Minuten-Rastung der Weckzeit und zum anderen daraus, daß bei den Zehnerstunden nur 3 unterschiedliche Werte erkannt werden müssen. 10 Zustände gilt es beim Stundenzähler und 6 beim Zehnerminutenzähler zu unterscheiden. Das legt den Einsatz von BCD-zu-1-aus-10-Dekodern nahe, eben von Schaltkreisen des Typs *V 4028 D*. Die Leiterplatte dieses Zusatzes, dessen Stromlaufplan Bild 13 zeigt, paßt zur Hauptleiterplatte. Man kann sie direkt auf jene setzen und mit Verbindungsdrähten leiterseitig anlöten. Die beste Stelle dafür ist die Lötaugenzeile der Dekodereingänge. Man erkennt diese Einzelheiten aus den Fotos.

Für die Zehnerstunden genügen $^3/_4$ eines *V 4011 D*. Am jeweils gerade zutreffenden der 3 benutzten Ausgänge erscheint, wie man sich leicht aus Tabelle 2 ableiten kann, zunächst L. Ein Schalterkontakt oder eine Kontaktbrücke sorgt für die Vorauswahl. Das noch freie 4. Gatter des *V 4011 D* invertiert das L zu H, wie es bei erfüllter Weckbedingung auch von den anderen Stufen kommt. Der pull-up-Widerstand am 4. Gatter verhindert, daß undefinierte Ströme zustande kommen, wenn einmal keine Brücke gesteckt bzw. ein statt der Brücke benutzter Schalter offen ist.

2 Dioden schließlich genügen, um den Wert 5 beim Minutenzähler zu erkennen. Bei 5 führen die Ausgänge O0 und O2 erstmals beide H. Bei Benutzung dieser 5-Minuten-Quantelung ertönt das Wecksignal nur für 1 Minute. Daher ist es meist willkommen, daß nach 1 Minute Pause infolge dieser »unvollständigen Dekodierung« bei 7 die Weckbedingung nochmals erfüllt wird. Das ergibt bei 7 eine Art Repeatsignal für nochmals 1 Minute. Wird die 5-Minuten-Vorwahl nicht gesteckt bzw. geschaltet, erhält man dagegen im dann vorliegenden 10-Minuten-Raster volle 10 Minuten lang ein Wecksignal. Man kann es durch einen im Muster noch nicht enthaltenen Schalter, z. B. durch Unterbrechen der

Signalgeneratorversorgung, vorzeitig löschen. Dieser Schalter könnte gleichzeitig für das Wochenende verwendet werden. Es empfiehlt sich dann, an die Generatorspannung noch eine Leuchtdiode anzuschließen, die »Wecker aktiv« signalisiert. Der Hauptbetriebsfall Netzspeisung erlaubt das.

Zum Auswertetransistor, der Bestandteil des Signalgebers ist, führt ein Diodengatter. Alarm wird ausgelöst, wenn alle Eingänge dieses Gatters H erhalten. Da das Dauersignal der *piezo-signal*-Kapsel nicht als optimal betrachtet werden kann, wird es durch einen Komplementärmultivibrator gepulst. Bild 13 zeigt, daß der dadurch erforderliche Mehraufwand gering bleibt. Die Kapsel selbst hat einen Einschnappmechanismus, so daß man sie leicht in einer passenden kreisförmigen Öffnung der Rückwand befestigen kann.

Der sparsame Aufwand im Generator zwingt zu einmaliger Anpassung des 1. Basiswiderstands an die Transistordaten. Sein Wert ist zu verändern, wenn kein Pulsen zustande kommt. Für diesen Arbeitsgang empfiehlt sich ein 1-MΩ-Steller mit etwa 100 kΩ Vorwiderstand. Anschließend kann ein im ermittelten Bereich liegender Festwiderstand eingesetzt werden.

Um den Aufwand für das Anwählen der Weckzeit gering zu halten (im allgemeinen variiert man sie ja nicht so oft), wurden statt möglicher Schalter Schaltkreisfassungen eingebaut. Die zufällig gerade vorhandenen körperlosen Kontaktelemente erleichterten dabei das Aufreihen von 2 × 10 Kontakten. Anderenfalls muß man sägen. Übrigens werden durch Sägen und Anlöten einer Drahtbrücke auch die Steckbrücken gewonnen. Ein preisgünstiger (und außerdem bereits ausrangierter) *A 109 D* war der »Spender«. Seine Anschlüsse 7, 8, 2, 13, 1 und 14, die sich jeweils an den Gehäuseenden gegenüberstehen, sind unbelegt. Die Laubsäge genügt für das Absägen vom Plastgehäuse, dessen aktiver Inhalt danach sogar noch erhalten bleibt – nur klimatisch dürfte es nicht mehr so günstig sein ...

Als »Nulltariflösung« ist jeder beliebige defekte plastverkappte DIL-Schaltkreis mit 7,5 mm Reihenabstand geeignet. Für die 5er-Minuten wird eine überbrückte Plastdiode verwendet. Bild 25 zeigt einen solchen Stecker.

5.6. Stromversorgung und Entstörung

Der große zulässige Spannungsbereich von CMOS-Schaltkreisen sollte im vorliegenden Fall sinnvoll begrenzt werden. Das kommt sowohl der Ganggenauigkeit des LC-Generators entgegen wie dem aus Wechselspiel von Spannungswert und Begrenzungswiderständen resultierendem Anzeigestrom. Nur dann, wenn er garantiert unter 200 mA bleibt, kann die benutzte Helligkeitsregelschaltung nicht überlastet werden. Damit wird es leicht, ein passendes und auf Grund der verfügbaren modernen Bauelemente wenig aufwendiges Netzteil zu bauen.

Bild 14 zeigt einen Lösungsvorschlag. Eine Leiterplatte ist nicht unbedingt erforderlich. Man kann die wenigen Bauelemente und den einstellbaren Spannungsregler *B 3170* mit dem Elektrolytkondensator als Stütze direkt am 6-V/0,5-A-Klingeltransformator anordnen. Dieser Typ gewährt bei nur 200 mA Belastung noch weit über 9 V am Ladekondensator, so daß die erforderliche Mindestspannungsdifferenz über dem Schaltkreis gesichert bleibt – unter Berücksichtigung der Welligkeit.

Sollten sich die weiter vorn geschilderten, am Muster unter Extrembedingungen beobachteten Netzimpulseinflüsse zeigen, hilft meist eine Entstördrossel. In den Netzeingangskreisen von industriell hergestellten Geräten findet sich häufig ein solches Bauelement, z. B. die Stabkerndrossel Typ 1, eine für unsere Zwecke gut geeignete Bauform. Sie kann mit im Uhrengehäuse untergebracht werden und entstört die Niederspannungszuleitung. Man kann aber auch solche Drosseln selbst wickeln, z. B. auf Ferritstabstücken oder Schalenkernen mit Luftspalt. Induktivitäten um 1 mH sind angemessen. In Nachbildung der Stabkerndrossel werden 2 identische Wicklungen aufgebracht, die für 200 mA noch keinen wesentlichen Spannungsverlust verursachen. Man leitet durch diese Wicklungen sowohl den hin- wie den rückfließenden Strom. Bei richtig gepolten Anschlüssen heben sich dabei die vom Gleichstrom verursachten Magnetfelder auf.

Es kommt auf die Umgebungsbedingungen an, ob solche Maßnahmen am Endprodukt noch nötig sind bzw. ob ihre Wirkung ausreicht. Am Mustergerät, nachdem es nicht mehr den genannten extremen Verhältnissen ausgesetzt war, wurden keine Störeinflüsse mehr beobachtet – selbst ohne Drossel.

Gegenüber dem nur auf externe Speisung eingerichteten Muster braucht man lediglich etwas breitere Wände, um eine 4,5-V-Stützbatterie mit im Gehäuse unterzubringen. Trotz der nur noch etwa 4 V hinter der Entkopplungsdiode (sonst unerwünschte »Aufladung« vom Netzteil her!) bei Netzausfall oder

Transport arbeitete die Uhr einwandfrei weiter. Die in Bild 15 skizzierten Maßnahmen schließlich erlaubten auch längere Batterielaufzeiten, wenn man den *B 555 D* und damit auch die Anzeigen solange ausblendet. Dieser Ausblendschalter läßt sich dann bei Bedarf sogar zum gelegentlichen Ablesen der Zeit einschalten.

5.7. Bauhinweise, Leiterplatten, Varianten

Die Fotos zu diesem Objekt belegen die einfache Konstruktion des Grundgeräts. Erwähnenswert ist vielleicht noch das Detail »Montage der Simetoschalter«. Bild 16 zeigt die Art der Befestigung.

Die Leiterplatte des Grundgeräts (Bild 17) kann zunächst in der gezeigten Weise benutzt werden. Das ergibt eine Art von flacher Wanduhr. Die Platte läßt sich jedoch auch unterhalb der durch die oberen Anschlüsse der Segmentwiderstände markierten Linie durchsägen. Dann können die zur Anzeige weisenden Widerstandsanschlüsse beim Bestücken gleich zum Abwinkeln der Anzeigeplatte benutzt werden. So entsteht ein flaches Tischmodell mit stirnseitiger Anzeige.

Die Leiterplatte des Weckteils ist in Bild 18 dargestellt. Die Art ihrer Montage wurde schon beschrieben und geht auch aus den Fotos hervor.

Für Front- und Rückdeckplatte des Mustergehäuses nach Bild 19 wurde 1seitig kupferkaschiertes Hartpapier verwendet. Die Seitenteile bestehen aus ebenfalls 1seitig kaschiertem Cevausit. Der Rahmen wurde mit der Folie nach innen an den Kanten zusammengelötet. Die Kupferumrandung der Hauptleiterplatte stellt genügend Lötpunkte für die Befestigung mit dem Rahmen bereit. Leiter- und Bauelementeseite bleiben zugänglich, wenn Rückwand und Frontplatte lösbar eingesetzt werden. Allzu provisorisch sollte die Endlösung jedoch nicht bleiben, sonst nimmt sie durch schwankende Kapazitäten Einfluß auf die Ganggenauigkeit, wie dargestellt. Kleine Blechwinkel mit M2-Gewinde und passende Schrauben dürften angemessen sein.

Die seit einiger Zeit im Halbzeug enthaltene Beschriftung legt es nahe, dem endgültigen Gerät eine »2. Haut« durch Lackieren oder Aufkleben einer Dekorfolie zu verleihen.

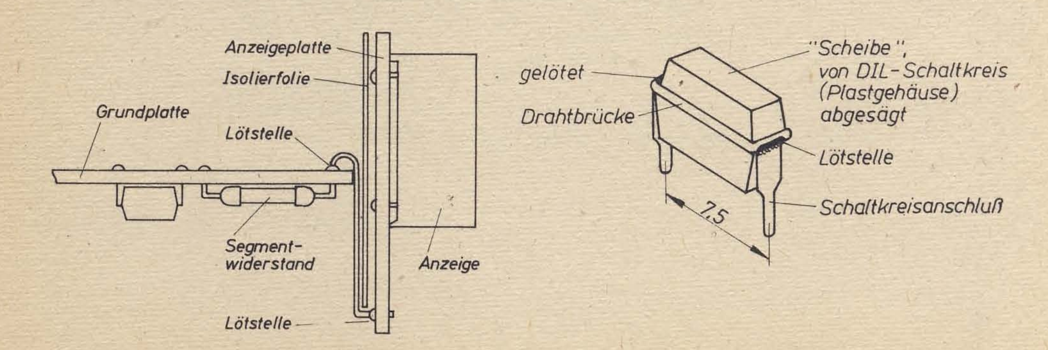
Die Bilder 20 bis 23 zeigen Ansichten des Entwicklungsmusters. Für die Anordnung der Teile sind die Bilder 17 und 18 maßgebend. Der Helligkeitsregler z. B. befindet sich beim Muster noch mit auf dem Weckzusatz, endgültig ist er bereits auf der Hauptleiterplatte enthalten.

Abschließend illustriert Bild 24 die Empfehlung, wie durch Auftrennen der Hauptleiterplatte statt der Wanduhr eine Tischuhr entsteht.

6. *typofix*-Folie und Stücklisten

Die ätzfeste Folie trägt die Leiterbilder von Hauptleiterplatte und Weckzusatz. Sie steht etwa ab Erscheinen des vorliegenden Bauplans in einigen Amateur-Bezirksfilialen des RFT-Industrievertriebs zur Verfügung. Zum Manuskriptzeitpunkt zeichnete sich dabei dank den Bemühungen des Erfurter Kollektivs dort eine Komplettlösung ab: das parallele Angebot von Bauplänen und Folien.

Ebenfalls für diese beiden Leiterplatten wurden die erforderlichen Bauelemente in den folgenden beiden Stücklisten zusammengestellt.



$+U_{DD}$

1/4 V4093D

(1/4 V4093D)

ST &

ST

Takt-Anzeige

Taktfrequenz einstellen

1µ (10µ) (100k) 1M

1

9

R_K

10

zum Frequenzteiler

Quarz

CMOS-Inverter

Anschlüsse am U 124 D (U 114 D)

2

Teilerstufen:

Oszill. Inverter

1…5 $2^5:1$

6…12 $2^7:1$

13…16 $2^4:1$

R_K

Testlogik

Start/Stop

17…22 $2^6:1$

23 2:1

$(+)U_{DD}$ 1

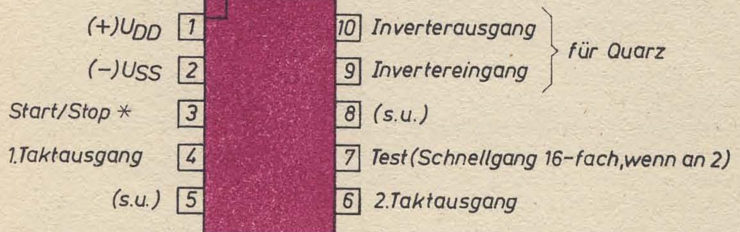
$(-)U_{SS}$ 2

(8)

(5)

a)

3a



3b

Bild 1
Einfacher Taktgeber für Sekundentakt (am Widerstand einstellen); durch Leuchtdiode hinter 2. Triggerelement zur Entkopplung ist Kontrolle der Taktfrequenz möglich

Bild 2
Schwingschaltung für Quarz, dessen Parallelresonanzfrequenz der gewünschten entspricht. R_K ist im Falle des *U 124 D* (u. ä.) bereits integriert

Bild 3
Uhrenschaltkreis *U 124 D*;
a – Übersichtsschaltplan, b – Anschlußbelegung und Funktionen

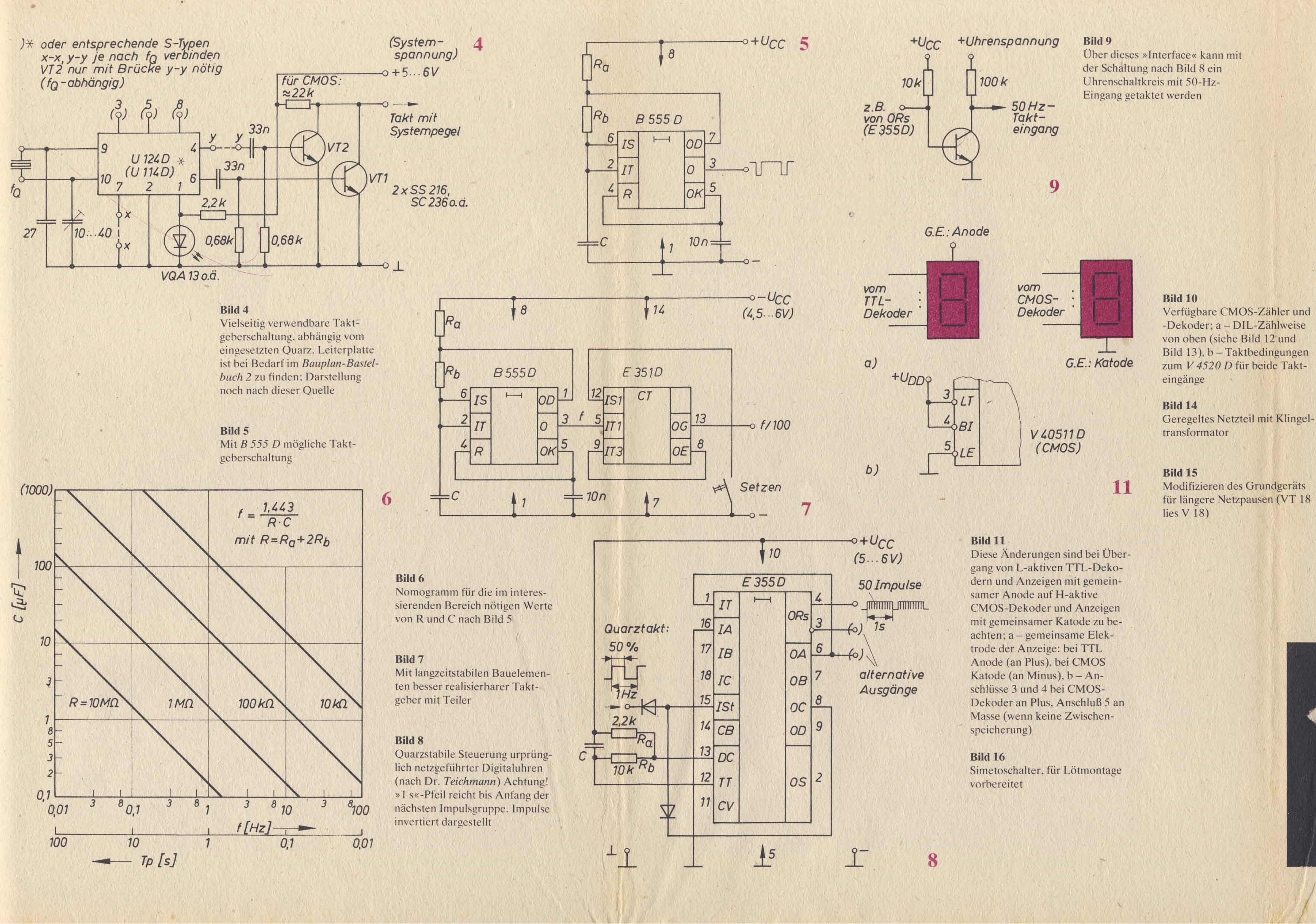


Bild 4
Vielseitig verwendbare Taktgeberschaltung, abhängig vom eingesetzten Quarz. Leiterplatte ist bei Bedarf im *Bauplan-Bastelbuch 2* zu finden; Darstellung noch nach dieser Quelle

Bild 5
Mit *B 555 D* mögliche Taktgeberschaltung

Bild 6
Nomogramm für die im interessierenden Bereich nötigen Werte von R und C nach Bild 5

Bild 7
Mit langzeitstabilen Bauelementen besser realisierbarer Taktgeber mit Teiler

Bild 8
Quarzstabile Steuerung ursprünglich netzgeführter Digitaluhren (nach Dr. *Teichmann*) Achtung! »1 s«-Pfeil reicht bis Anfang der nächsten Impulsgruppe. Impulse invertiert dargestellt

Bild 9
Über dieses »Interface« kann mit der Schaltung nach Bild 8 ein Uhrenschaltkreis mit 50-Hz-Eingang getaktet werden

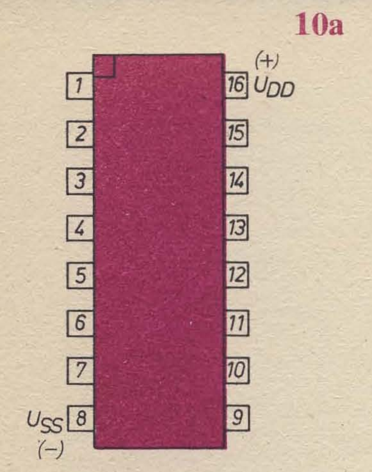
Bild 10
Verfügbare CMOS-Zähler und -Dekoder; a – DIL-Zählweise von oben (siehe Bild 12 und Bild 13), b – Taktbedingungen zum *V 4520 D* für beide Takteingänge

Bild 11
Diese Änderungen sind bei Übergang von L-aktiven TTL-Dekodern und Anzeigen mit gemeinsamer Anode auf H-aktive CMOS-Dekoder und Anzeigen mit gemeinsamer Katode zu beachten; a – gemeinsame Elektrode der Anzeige: bei TTL Anode (an Plus), bei CMOS Katode (an Minus), b – Anschlüsse 3 und 4 bei CMOS-Dekoder an Plus, Anschluß 5 an Masse (wenn keine Zwischenspeicherung)

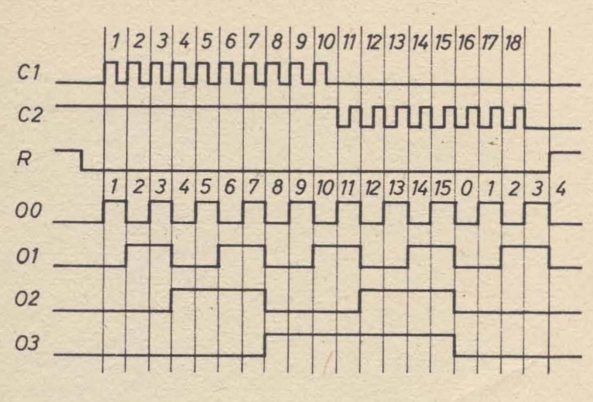
Bild 14
Geregeltes Netzteil mit Klingeltransformator

Bild 15
Modifizieren des Grundgeräts für längere Netzpausen (VT 18 lies V 18)

Bild 16
Simetoschalter, für Lötmontage vorbereitet



10a

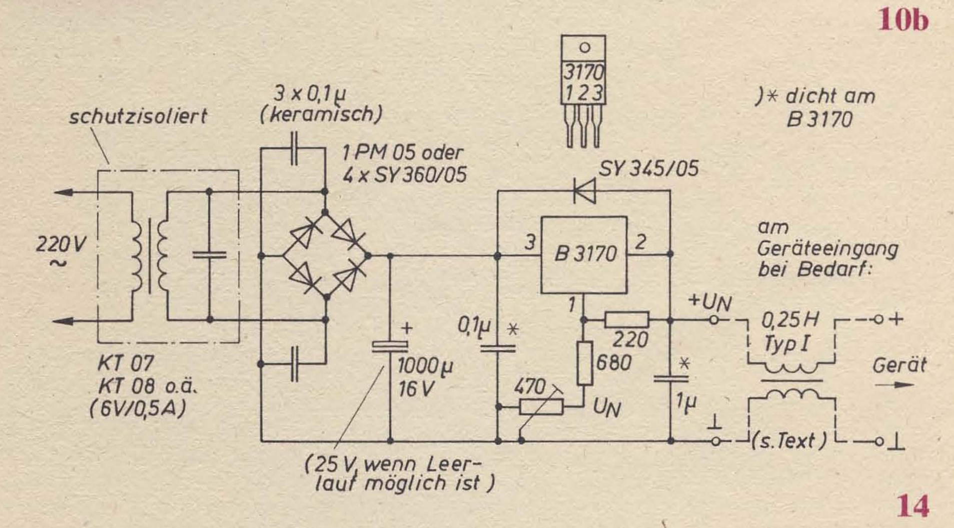


10b

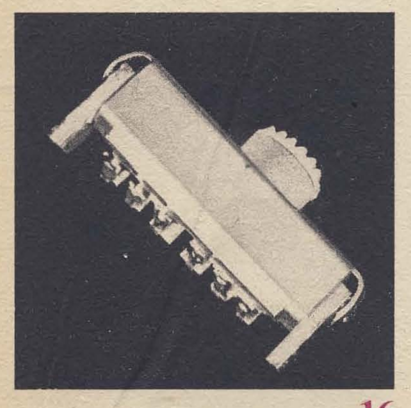
hler und
hlweise
2 und
ngungen
le Takt-

t Klingel-

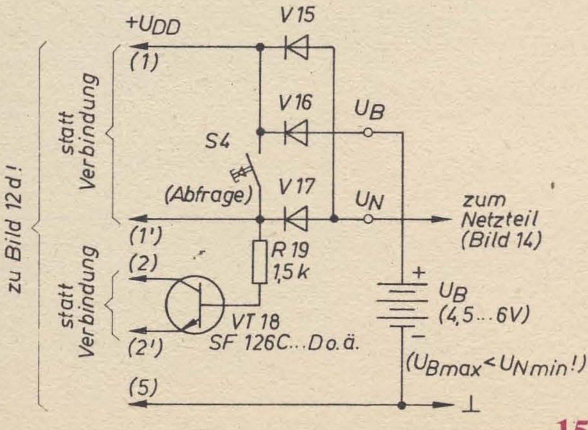
dgeräts
n (VT 18



14



16



15



12b

+UDD
(1)
E 23
2
5
7 12 10
DD)

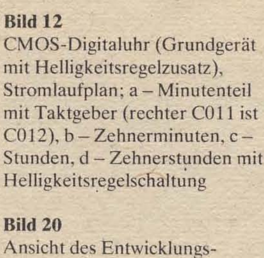
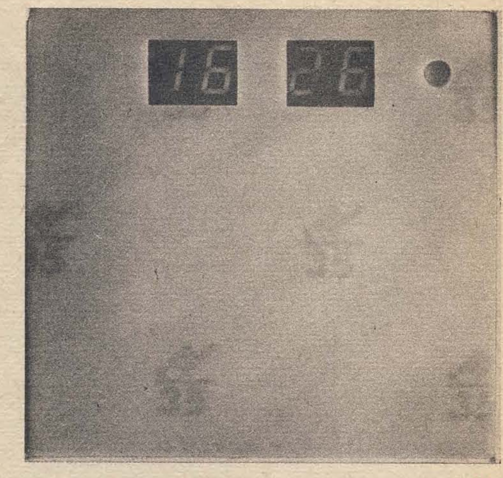


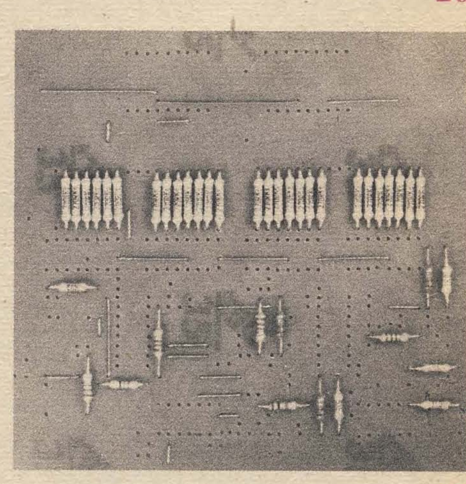
Bild 12
CMOS-Digitaluhr (Grundgerät mit Helligkeitsregelzusatz), Stromlaufplan; a – Minutenteil mit Taktgeber (rechter C011 ist C012), b – Zehnerminuten, c – Stunden, d – Zehnerstunden mit Helligkeitsregelschaltung

Bild 20
Ansicht des Entwicklungsmusters, noch ohne Oberfläche

Bild 21
Hauptleiterplatte des Musters, noch ohne Helligkeitsregler; 3. Bestückungsphase (für endgültige Lage der Teile gilt Bild 17)



20



21

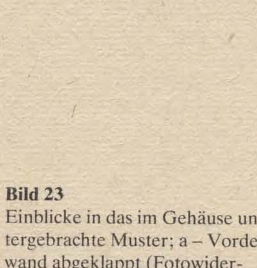
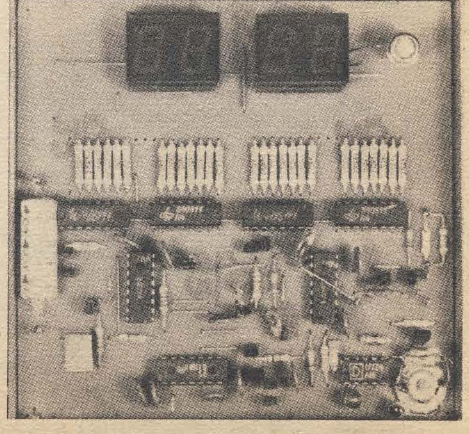
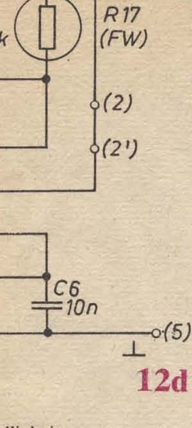


Bild 23
Einblicke in das im Gehäuse untergebrachte Muster; a – Vorderwand abgeklappt (Fotowiderstand noch provisorisch montiert), b – Rückwand mit *piezo-phon* abgeklappt, Details besser erkennbar (endgültige Programmstecker im Weckteil)



23a



12d

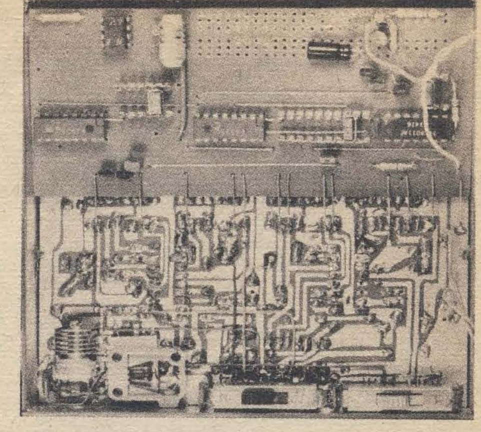
elligkeitssteuerzusatz

1/8 W
1/8 W
1/8 W
1/8 W
1/8 W
1/8 W
1/8 W
1/8 W
1/8 W
1/8 W
1/8 W
1/8 W
derstand, z. B. WK 65038, FO-K4 o. ä.
1/8 W (für Zusatz nach Bild 15)
1/8 W (für U_{DD} = 6 V)

ndensator (o. ä. Typ)
ondensator
kondensator
kondensator
ondensator
heibenkondensator
rolytkondensator (liegend), 10...16 V
cheibenkondensator
,7 nF Keramik-Scheibenkondensator
kthinweise; mit 100 pF beginnen!)
,1 µF Keramik-Scheibenkondensator

* = Zusatz für Bild 15)
..04 Silizium-Planardiode SAY 30 o. ä.
-Transistor SC 236 o. ä.
VQA 13 oder VQA 15
Gleichrichterdiode SY 360/05
ansistor SF 126 C...D
VQE 23 (gem. Katode)
rschaltkreis V 4520 D
S-Dekoderschaltkreis U (V) 40511 D
haltkreis V 4011 D
ltkreis U (S) 124 D o. ä.
555 D

mschalter, nichtrast.)
Umschalter, rast.)
rf
7



23b

Tabelle 1 Kenngrößen des *U 124 D (U 114 D)*

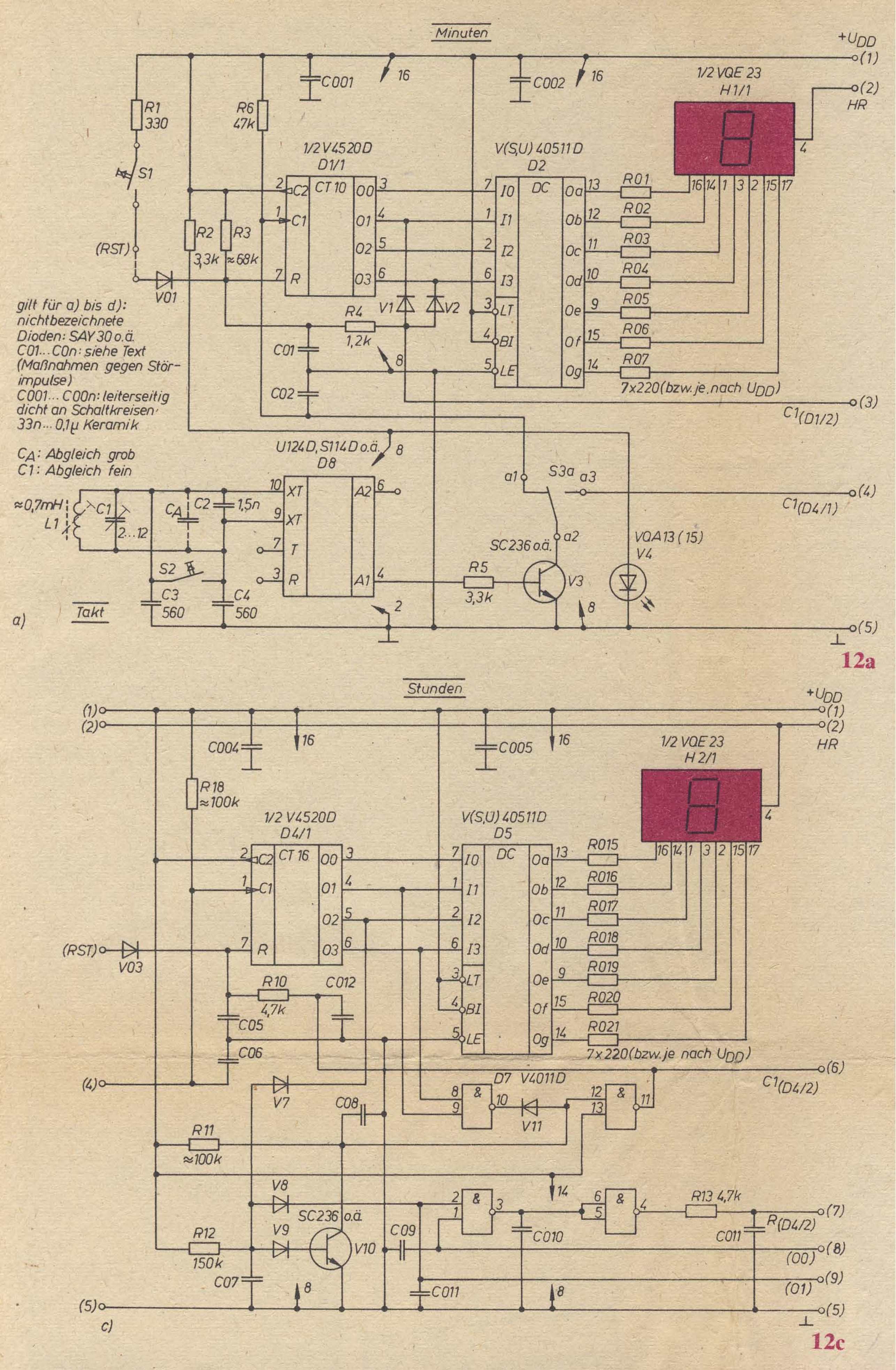
Kenngröße	Minimalwert	Nennwert	Maximalwert
Grenzwerte			
Betriebsspannung U_{DD} in V	−0,3		2,5
Spannung an allen Eingängen, bezogen auf U_{SS}, U_I in V	−0,3		U_{DD}
Betriebstemperatur ϑ_a in °C	−10		70
Lagerungstemperatur ϑ_{st} in °C	−55		125
Betriebsbedingungen			
Betriebsspannung U_{DD} in V (für 10 bis 70 °C)	1,2	1,5	1,7
Umgebungstemperatur ϑ_a in °C (für 1,35...1,7 V)	−10	25	70
Lastwiderstand R_L in Ω	300		

Tabelle 2
Zählschritt-Tabelle als Hilfsmittel bei Zählweitenbegrenzungen u. ä. (üblicher Kode 1–2–4–8)

Zählschritt	Aus- oder Eingang 3	2	1	0
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H
10	H	L	H	L
11	H	L	H	H
12	H	H	L	L
13	H	H	L	H
14	H	H	H	L
15	H	H	H	H

Bild 24
So entsteht nach Trennen der Hauptleiterplatte oberhalb der oberen Lötaugenzeile für die Segmentwiderstände eine »Flachausführung« für eine Tischuhr

Bild 25
Detail Programmierstecker für Weckzeitwähler



Minuten
+UDD
1/2 VQE 23
H1/1
HR
R1 330
S1
(RST)
R6 47k
R2 3,3k
R3 ≈68k
1/2 V4520D
D1/1
CT 10
V(S,U) 40511 D
D2
DC
C001
C002
R4 1,2k
V1 V2
V01
C01
C02
R01
R02
R03
R04
R05
R06
R07
7x220 (bzw. je nach UDD)
C1(D1/2)
gilt für a) bis d):
nichtbezeichnete Dioden: SAY 30 o.ä.
C01... C0n: siehe Text (Maßnahmen gegen Störimpulse)
C001... C00n: leiterseitig dicht an Schaltkreisen 33n... 0,1μ Keramik
CA: Abgleich grob
C1: Abgleich fein
U124D, S114D o.ä.
D8
≈0,7mH L1
C1 2...12
CA
C2 1,5n
S2
C3 560
C4 560
Takt
S3a
SC236 o.ä.
R5 3,3k
V3
VQA13 (15)
V4
C1(D4/1)
a)
12a
Stunden
1/2 VQE 23
H 2/1
C004
C005
R18 ≈100k
1/2 V4520D
D4/1
CT 16
V(S,U) 40511D
D5
V03
R10 4,7k
C012
C05
C06
R015
R016
R017
R018
R019
R020
R021
7x220 (bzw. je nach UDD)
C1(D4/2)
D7 V4011D
V7
C08
V11
R11 ≈100k
V8
V9
SC236 o.ä.
V10
R12 150k
C07
C09
C010
C011
R13 4,7k
R(D4/2)
(00)
(01)
c)
12c

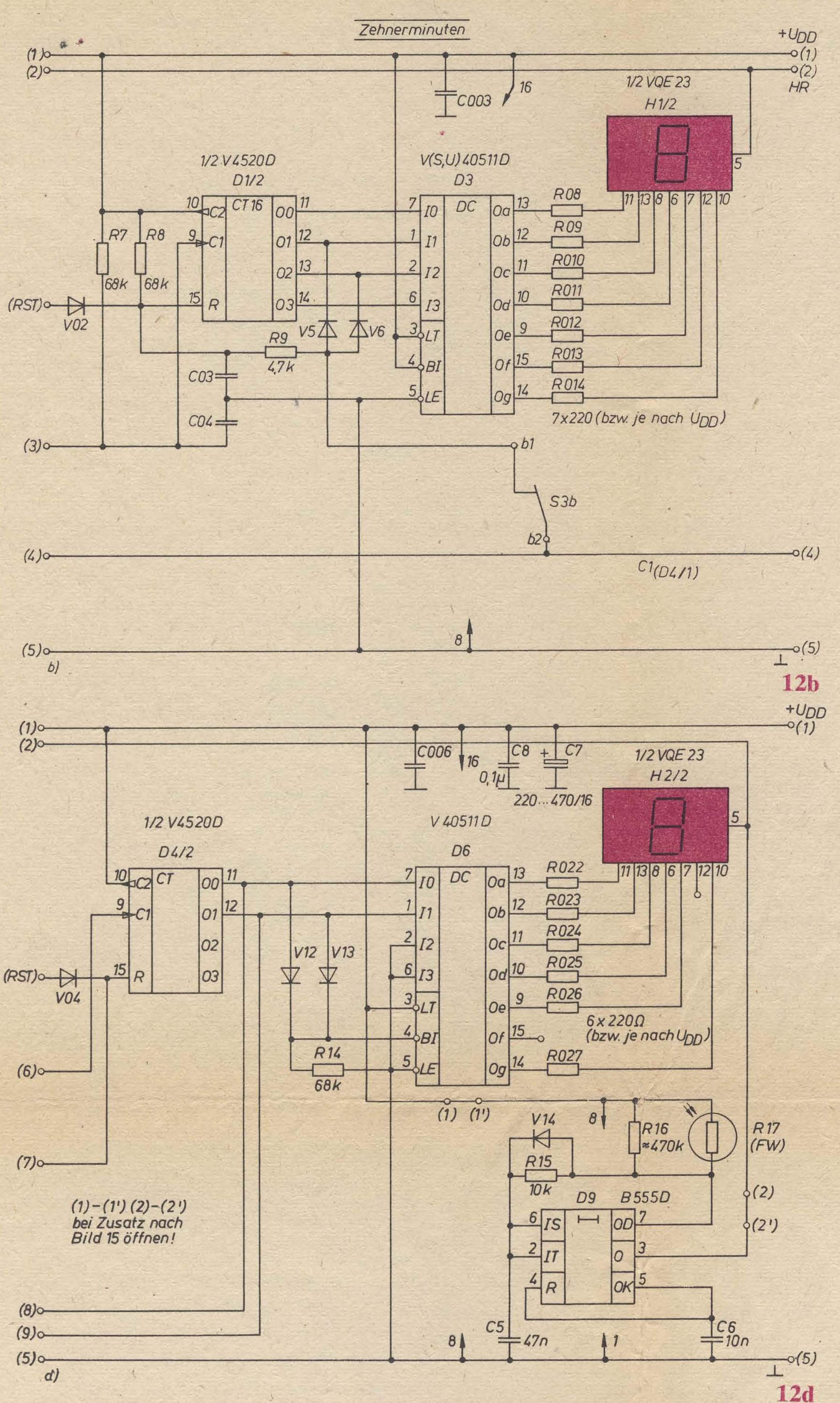
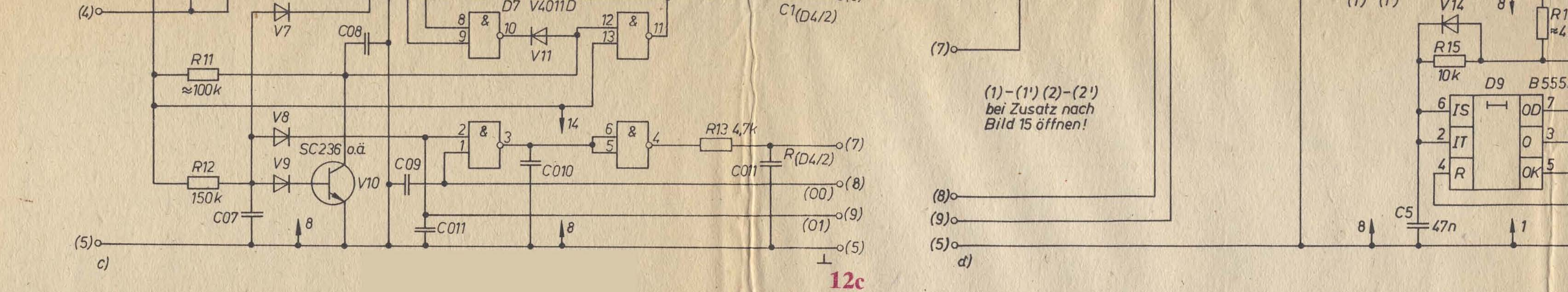


Bild 12
CMOS-Digitaluhr (Grundgerät mit Helligkeitsregelzusatz), Stromlaufplan; a – Minutenteil mit Taktgeber (rechter C011 ist C012), b – Zehnerminuten, c – Stunden, d – Zehnerstunden mit Helligkeitsregelschaltung

Bild 20
Ansicht des Entwicklungsmusters, noch ohne Oberfläche

Bild 21
Hauptleiterplatte des Musters, noch ohne Helligkeitsregler; 3. Bestückungsphase (für endgültige Lage der Teile gilt Bild 17)

Bild 23
Einblicke in das im Gehäuse untergebrachte Muster; a – Vorderwand abgeklappt (Fotowiderstand noch provisorisch montiert), b – Rückwand mit *piezo-phon* abgeklappt, Details besser erkennbar (endgültige Programmstecker im Weckteil)



12c

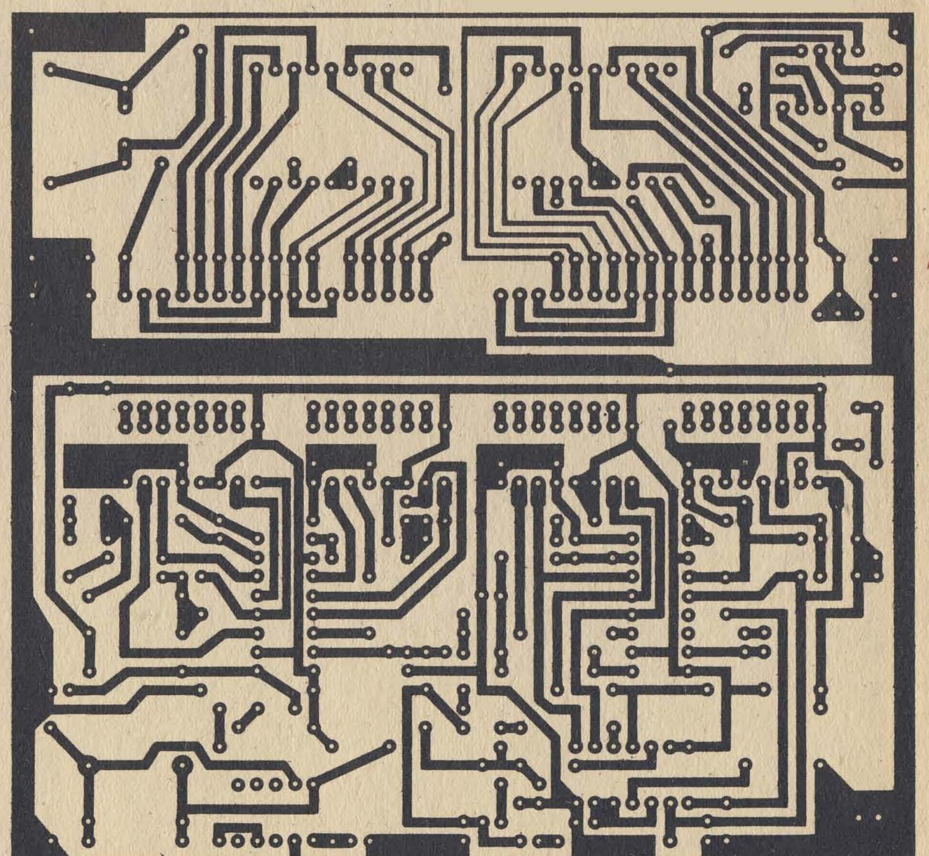
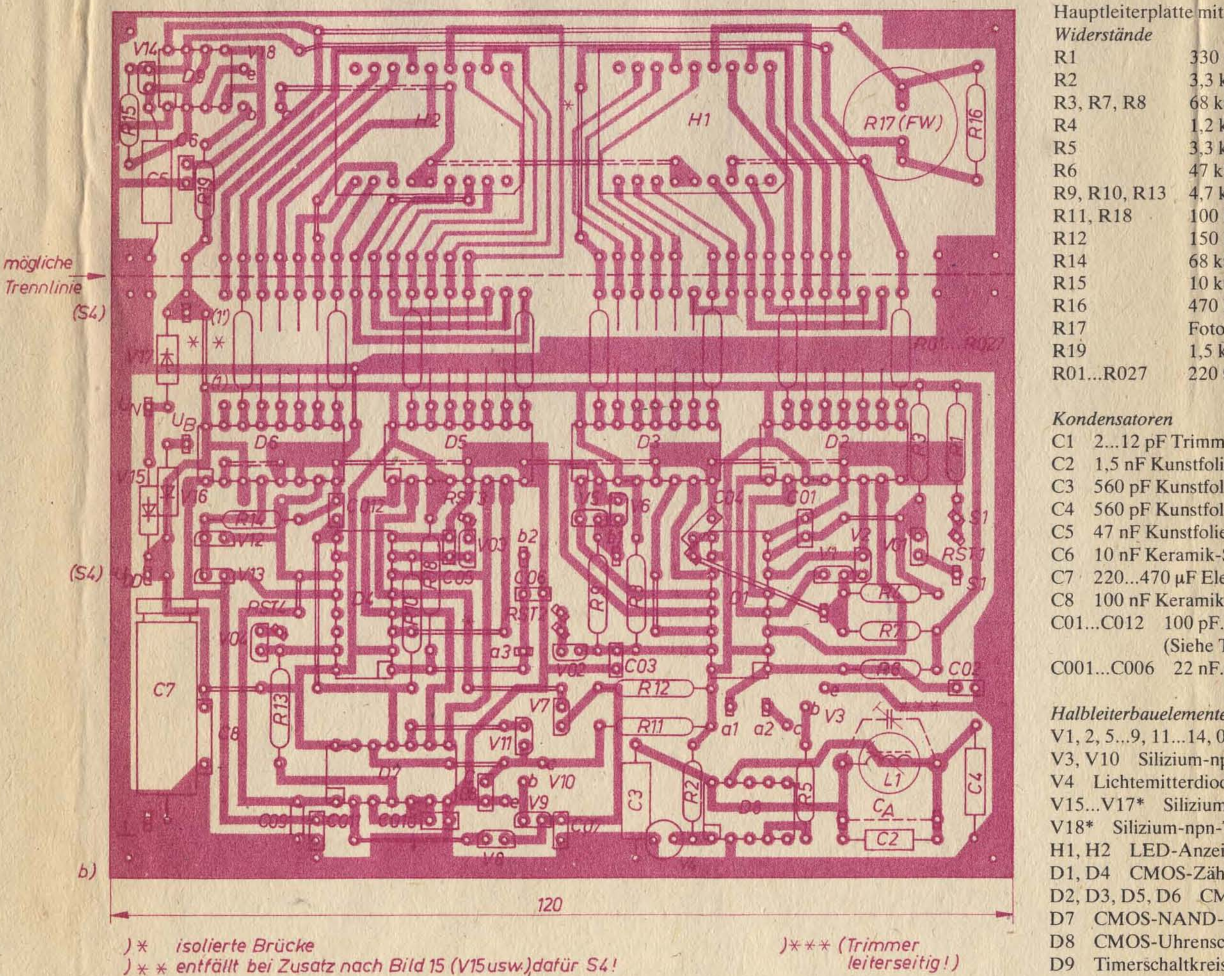


Bild 17
Leiterplatte zum Grundgerät mit Helligkeitsreglerzusatz; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan

17a



17b

Stückliste zu Bild 12/
Hauptleiterplatte mit

Widerstände

R1	330
R2	3,3 k
R3, R7, R8	68 k
R4	1,2 k
R5	3,3 k
R6	47 k
R9, R10, R13	4,7 k
R11, R18	100
R12	150
R14	68 k
R15	10 k
R16	470
R17	Foto
R19	1,5 k
R01...R027	220

Kondensatoren

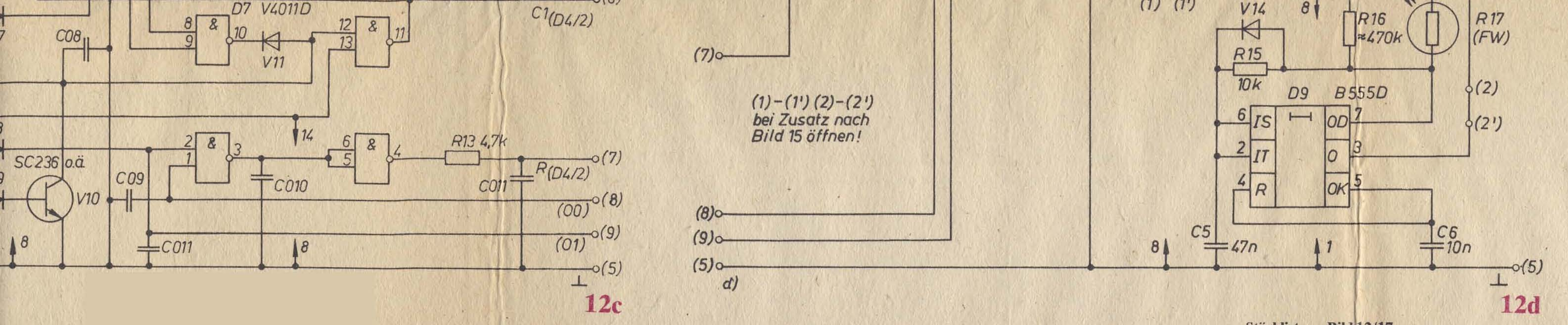
C1 2...12 pF Trimm
C2 1,5 nF Kunstfoli
C3 560 pF Kunstfol
C4 560 pF Kunstfol
C5 47 nF Kunstfolie
C6 10 nF Keramik-
C7 220...470 µF Ele
C8 100 nF Keramik
C01...C012 100 pF.
(Siehe T
C001...C006 22 nF.

Halbleiterbauelemente

V1, 2, 5...9, 11...14, 0
V3, V10 Silizium-np
V4 Lichtemitterdioc
V15...V17* Silizium
V18* Silizium-npn-
H1, H2 LED-Anzei
D1, D4 CMOS-Zäh
D2, D3, D5, D6 CM
D7 CMOS-NAND-
D8 CMOS-Uhrensc
D9 Timerschaltkreis

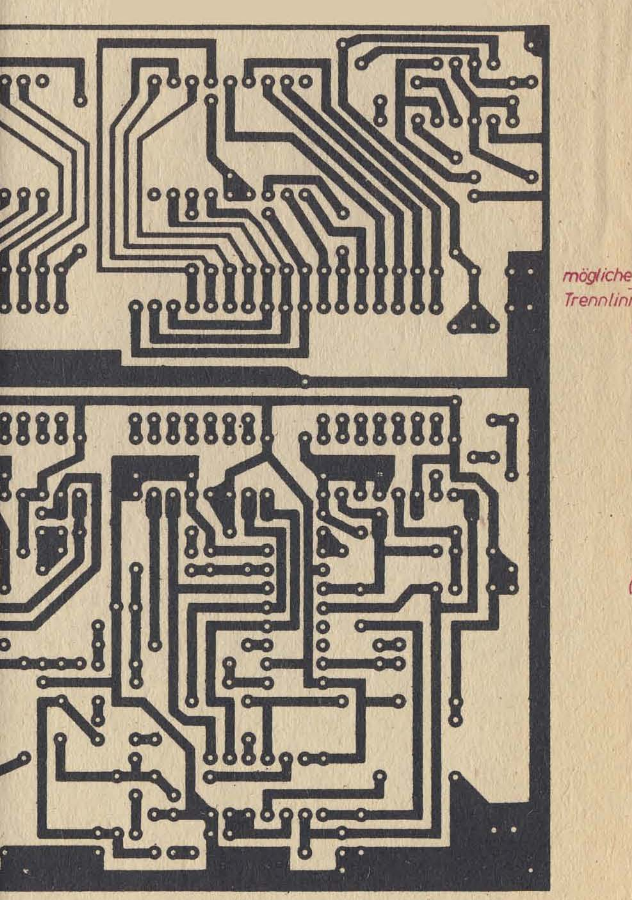
Sonstiges

S1, S2 Mikrotaster (
S3 Simetoschalter (2
Stecklötösen nach Be
Leiterplatte nach Bild

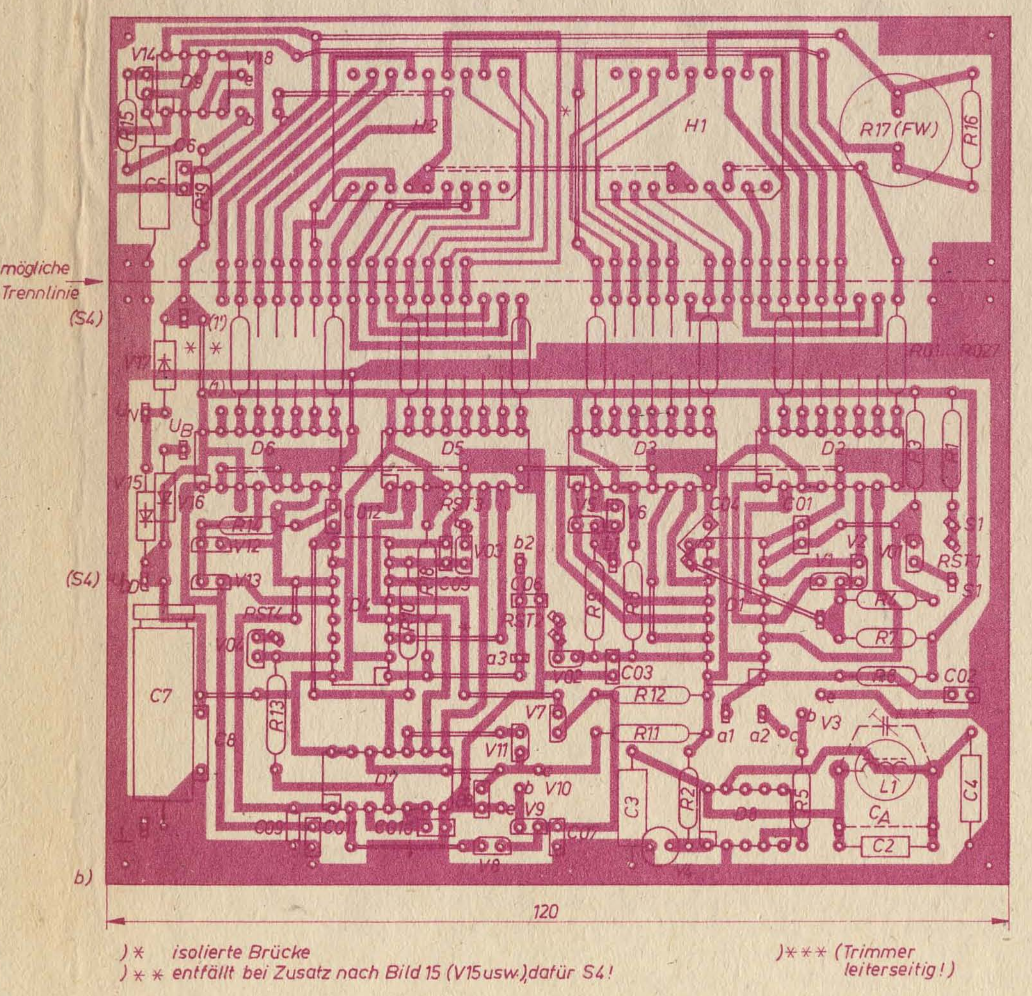


12c

12d



17a



17b

Stückliste zu Bild 12/17

Hauptleiterplatte mit Helligkeitssteuerzusatz

Widerstände

R1	330 Ω 1/8 W
R2	3,3 kΩ 1/8 W
R3, R7, R8	68 kΩ 1/8 W
R4	1,2 kΩ 1/8 W
R5	3,3 kΩ 1/8 W
R6	47 kΩ 1/8 W
R9, R10, R13	4,7 kΩ 1/8 W
R11, R18	100 kΩ 1/8 W
R12	150 kΩ 1/8 W
R14	68 kΩ 1/8 W
R15	10 kΩ 1/8 W
R16	470 kΩ 1/8 W
R17	Fotowiderstand, z. B. WK 65038, FO-K4 o. ä.
R19	1,5 kΩ 1/8 W (für Zusatz nach Bild 15)
R01...R027	220 Ω 1/8 W (für U_{DD} = 6 V)

Kondensatoren

C1 2...12 pF Trimmkondensator (o. ä. Typ)
C2 1,5 nF Kunstfoliekondensator
C3 560 pF Kunstfoliekondensator
C4 560 pF Kunstfoliekondensator
C5 47 nF Kunstfoliekondensator
C6 10 nF Keramik-Scheibenkondensator
C7 220...470 µF Elektrolytkondensator (liegend), 10...16 V
C8 100 nF Keramik-Scheibenkondensator
C01...C012 100 pF...4,7 nF Keramik-Scheibenkondensator (Siehe Texthinweise; mit 100 pF beginnen!)
C001...C006 22 nF...0,1 µF Keramik-Scheibenkondensator

Halbleiterbauelemente (* = Zusatz für Bild 15)

V1, 2, 5...9, 11...14, 01...04 Silizium-Planardiode SAY 30 o. ä.
V3, V10 Silizium-npn-Transistor SC 236 o. ä.
V4 Lichtemitterdiode VQA 13 oder VQA 15
V15...V17* Silizium-Gleichrichterdiode SY 360/05
V18* Silizium-npn-Transistor SF 126 C...D
H1, H2 LED-Anzeige VQE 23 (gem. Katode)
D1, D4 CMOS-Zählerschaltkreis V 4520 D
D2, D3, D5, D6 CMOS-Dekoderschaltkreis U (V) 40511 D
D7 CMOS-NAND-Schaltkreis V 4011 D
D8 CMOS-Uhrenschaltkreis U (S) 124 D o. ä.
D9 Timerschaltkreis B 555 D

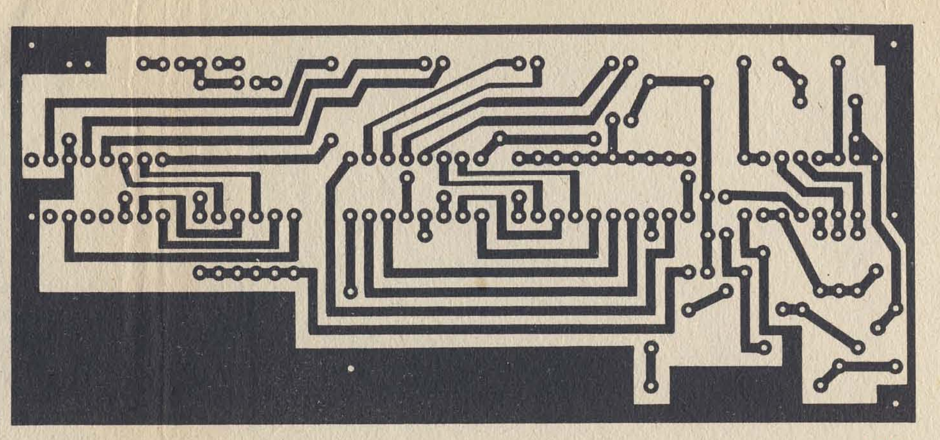
Sonstiges

S1, S2 Mikrotaster (Umschalter, nichtrast.)
S3 Simetoschalter (2 Umschalter, rast.)
Stecklötösen nach Bedarf
Leiterplatte nach Bild 17

13

Bild 13
Weckzusatz zum Grundgerät nach Bild 12

a)

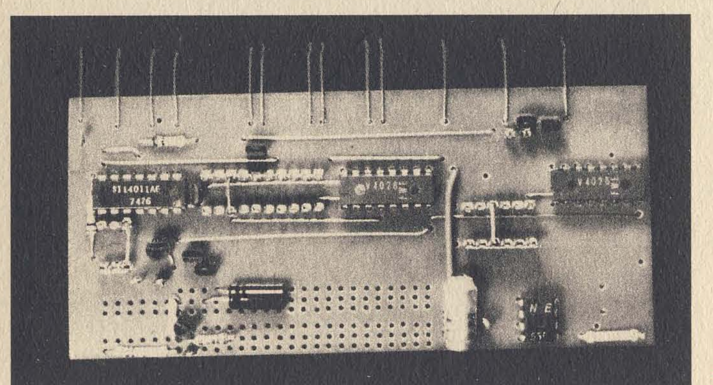


18a

b)

)* nötig, weil bei leiterseitiger Anordnung der Verbindungsdrähte obere Massekante entfällt; Anschlußkante dafür bis Kante hochziehen!

18b



22

Stückliste zu Bild 13/18
Weckzusatz mit Intervallton

Widerstände
R1 100 kΩ
R2 220 kΩ (Richtwert, siehe Text)
R3 15 kΩ
R4 3,3 kΩ (Richtwert)
R5 560 Ω

Kondensatoren
C1 2,2 µF Elektrolytkondensator
C001...003 22 nF...0,1 µF Keramik-Sc
(an Pluspol jeder IS gegen Masse)

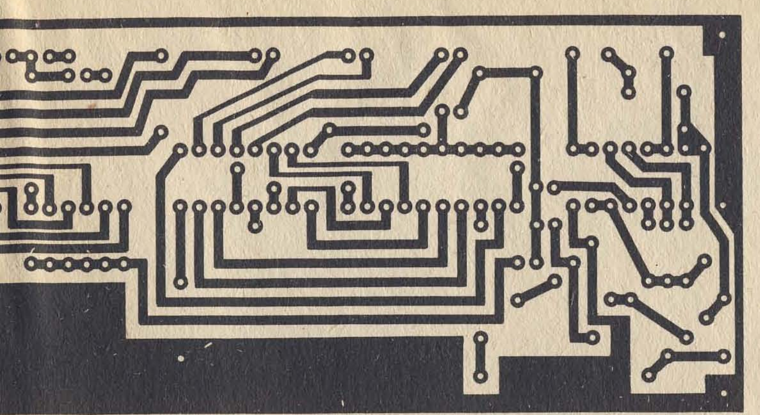
Halbleiterbauelemente
V1...V4 Silizium-Planardiode SAY 30
V5 Silizium-npn-Transistor SC 236 o.
V6 Silizium-pnp-Transistor SC 307 o.
D1, D2 CMOS-Dekoderschaltkreis V
D3 CMOS-NAND-Schaltkreis V 4011

Sonstiges
BL1 *piezo-phon*-Signalgeber (extern)
2 × 19 Schaltkreis-Fassungskontakte
4 Steckbrücken laut Text
Stecklötösen nach Bedarf
Leiterplatte nach Bild 18

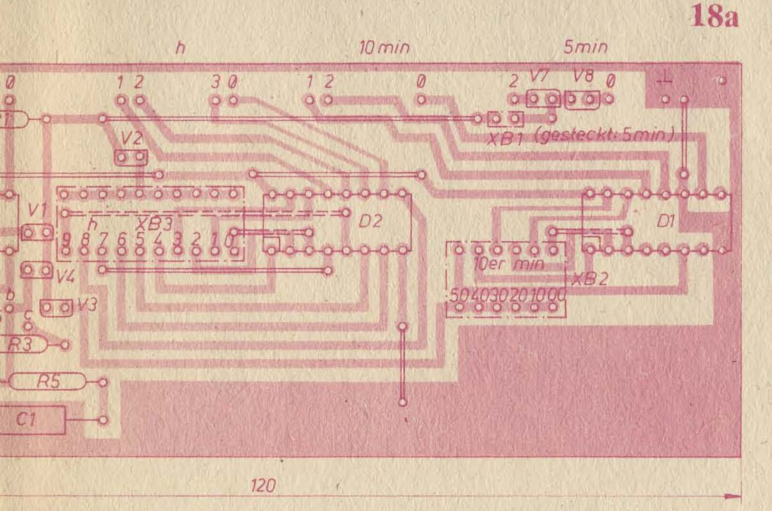
Bild 18
Leiterplatte zum Weckzusatz nach Bild 13; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan

Bild 19
Mustergehäuse, an Bild 17 angepaßte »Wandvariante« bzw. zum Aufstellen mit Stütze (schräg)

Bild 22
Entwicklungsmusterplatte zum Weckzusatz, trägt noch den Helligkeitsregler und einfache Drahtbrücken zur Programmierung

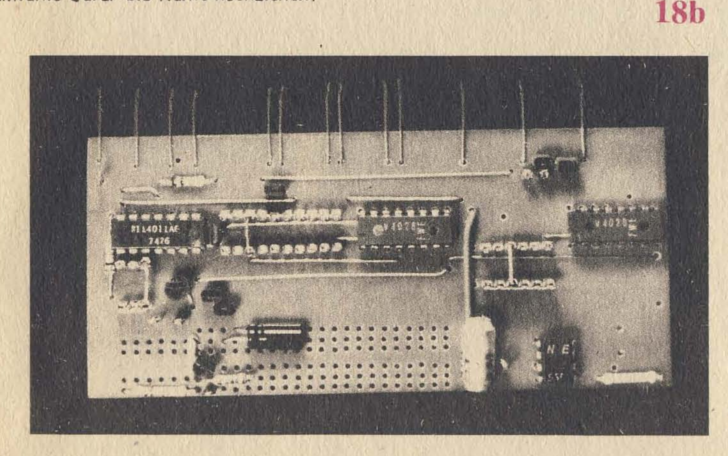


18a



...ei leiterseitiger Anordnung der Verbindungsdrähte obere Massekante ...chlußkante dafür bis Kante hochziehen!

18b



22

Stückliste zu Bild 13/18
Weckzusatz mit Intervallton

Widerstände
R1 100 kΩ
R2 220 kΩ (Richtwert, siehe Text)
R3 15 kΩ
R4 3,3 kΩ (Richtwert)
R5 560 Ω

Kondensatoren
C1 2,2 μF Elektrolytkondensator
C001...003 22 nF...0,1 μF Keramik-Scheibenkondensator (an Pluspol jeder IS gegen Masse)

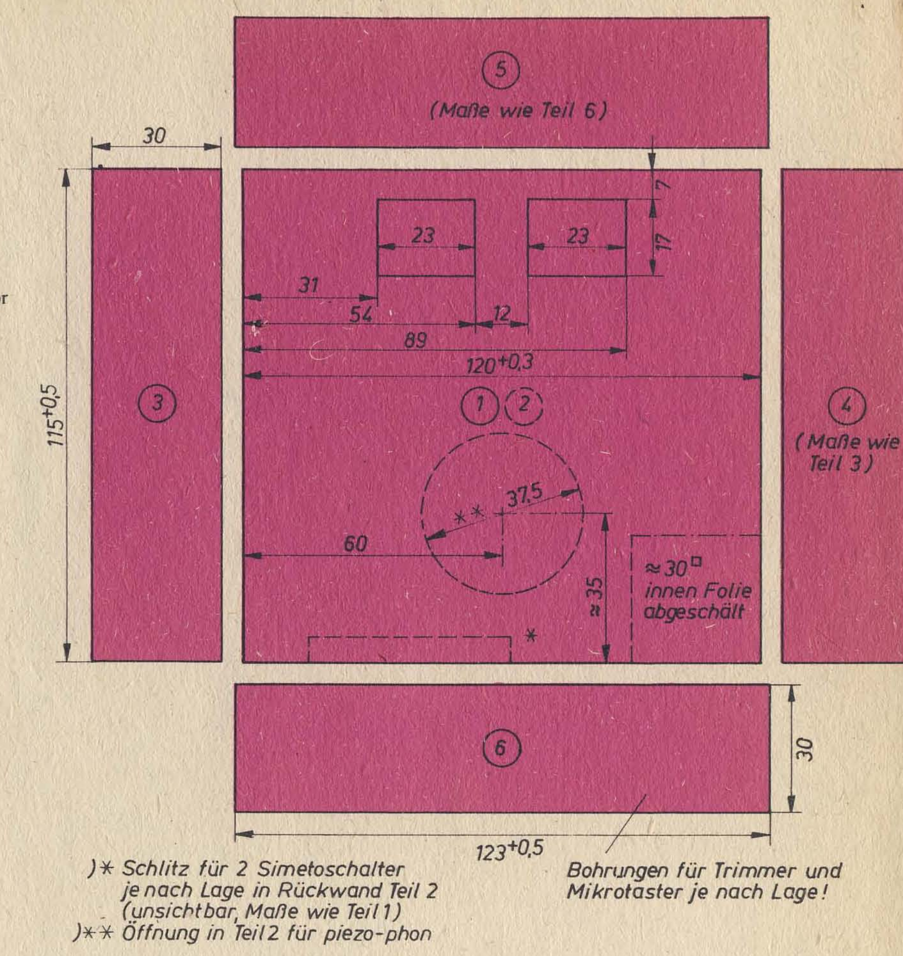
Halbleiterbauelemente
V1...V4 Silizium-Planardiode SAY 30 o. ä.
V5 Silizium-npn-Transistor SC 236 o. ä.
V6 Silizium-pnp-Transistor SC 307 o. ä.
D1, D2 CMOS-Dekoderschaltkreis V 4028 D
D3 CMOS-NAND-Schaltkreis V 4011 D

Sonstiges
BL1 *piezo-phon*-Signalgeber (extern)
2 × 19 Schaltkreis-Fassungskontakte
4 Steckbrücken laut Text
Stecklötösen nach Bedarf
Leiterplatte nach Bild 18

Bild 18
Leiterplatte zum Weckzusatz nach Bild 13; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan

Bild 19
Mustergehäuse, an Bild 17 angepaßte »Wandvariante« bzw. zum Aufstellen mit Stütze (schräg)

Bild 22
Entwicklungsmusterplatte zum Weckzusatz, trägt noch den Helligkeitsregler und einfache Drahtbrücken zur Programmierung



19

Schlenzig, Klaus:
Digitaluhr in CMOS. – Berlin: Militärverlag der DDR, 1987. – 32 Seiten: 26 Bilder – (Bauplan 65)

ISBN 3-327-00356-4

1. Auflage · © Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) · Berlin 1987 · Lizenz-Nr. 5 · Printed in the German Democratic Republic · Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen · Lektor: Rainer Erlekampf · Typografie: Helmut Herrmann · Redaktionsschluß: 20. Januar 1987 · LSV: 3539 · Bestellnummer: 746 932 4 · 00100